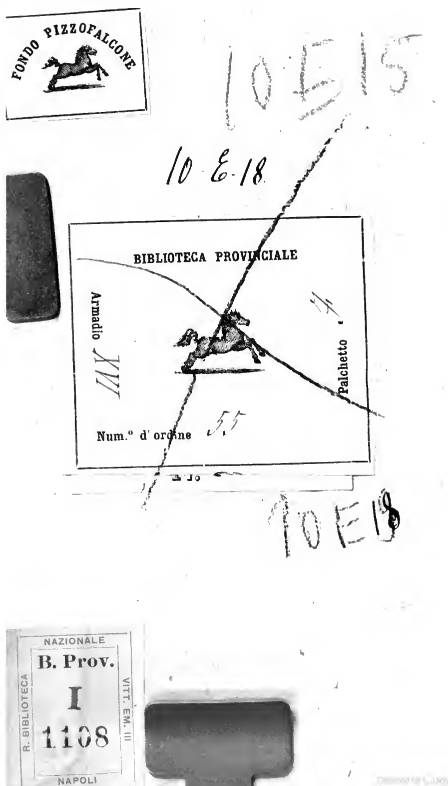




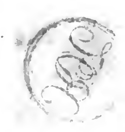
FONDO PIZZOFALCONE
10 E 15
10-E-18
BIBLIOTECA PROVINCIALE
Armadio XVI
Palchetto 4
Num.° d' ordine 55
10 E 18
NAZIONALE
B. Prov.
I
1108
R. BIBLIOTECA
VITT. EM. III
NAPOLI

8,

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE PHYSIQUE
GÉNÉRALE ET MÉDICALE.

A MONTPELLIER,

CHEZ GABON ET Cie, LIBRAIRES, GRAND'RUE.



TRAITÉ

ÉLÉMENTAIRE

DE PHYSIQUE

GÉNÉRALE ET MÉDICALE;

Par PELLETAN Fils,

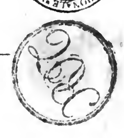
Médecin du Roi, Professeur de Physique à la Faculté de Médecine de Paris, Chevalier de l'Ordre royal de la Légion-d'Honneur, Membre de plusieurs Sociétés savantes, françaises et étrangères.

AVEC DES PLANCHES EN TAILLE-DOU



PREMIÈRE PARTIE.





PARIS,

GABON ET COMPAGNIE, LIBRAIRES,
RUE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE;

BÉCHET JEUNE, LIBRAIRE,
PLACE DE L'ÉCOLE-DE-MÉDECINE.

1825.

INTRODUCTION.

On peut mettre en question si dans l'état actuel des connaissances humaines il existe une science, proprement dite, qui mérite le nom de physique, et l'examen de cette question forme une introduction naturelle aux notions que nous avons voulu renfermer dans cet ouvrage élémentaire.

On n'ose plus entendre par Physique, la science de la nature, car l'ensemble de ce grand tout, dont nous ne formons qu'un atôme, ne peut être embrassé dans un ordre unique et général que par l'Intelligence suprême qui l'a créé.

La faiblesse de nos facultés exige des divisions; nous ne faisons qu'entrevoir la liaison commune, et l'étude de la nature se compose d'une foule de sciences, distinctes pour nous, quoique sans doute confondues dans l'ordre général. Chaque homme cultive un coin de ce vaste champ de la science;

les plus habiles connaissent la situation relative de leur lot particulier ; aucun, dans la durée de la vie la plus laborieuse, ne peut le sillonner tout entier.

Si nous renonçons à cette prétention de tout embrasser, qui ne s'accrédite que dans l'enfance des sciences, et qui prouve seulement le petit nombre de connaissances acquises sur chaque point, il faudra rechercher à quelle partie de l'étude de la nature on appliquera désormais le nom de *Physique.*

L'homme, en réfléchissant, c'est-à-dire en faisant réagir ses propres facultés sur lui-même, a créé l'immensité des sciences morales et métaphysiques, à l'extrémité desquelles il rencontre les deux grandes pensées de Dieu et de l'immortalité.

L'homme, en appliquant ses facultés aux objets qui l'entourent et l'affectent, a découvert les sciences naturelles ; il y est parvenu au moyen de l'observation et du raisonnement. La première peut être étendue et multipliée ; le second peut être perfectionné : l'une fournit les matériaux, l'autre est l'instrument qui les met en œuvre.

Le raisonnement peut se compliquer pour répondre à tous les besoins ; il est soumis à des règles qu'il faut connaître, à peu près comme certains instrumens d'astronomie ou de physique ne peuvent devenir utiles qu'à ceux qui en ont étudié le jeu et la composition. En l'appliquant aux nombres et aux grandeurs, il fournit des certitudes : on peut raisonner par signes et conclure par formules. En un mot, il existe des sciences mathématiques, dans lesquelles l'esprit humain, agissant sur de simples représentations, obtient des résultats justes, mais fictifs, et qui prennent de la réalité aussitôt qu'on substitue des valeurs aux signes représentatifs.

C'est ainsi que l'arithmétique, l'algèbre, les calculs différentiel et intégral, et celui des variations, en combinant des nombres ou des lettres, et la géométrie en comparant des lignes ou des surfaces idéales, arrivent à des résultats que l'esprit de l'homme n'aurait jamais pu atteindre, sans le secours de ces méthodes qui portent le nom de *mathématiques pures*, tant qu'elles restent spéculatives, et celui de *mathématiques*

appliquées, quand on s'en sert pour faciliter l'étude de la nature.

L'observation fournit des matériaux qui ne sont pas tous de même ordre : quand elle ne recueille que ce qui est extérieur aux corps, ou propre à les faire reconnaître, elle travaille pour l'histoire naturelle; quand elle épie les phénomènes ou les mouvemens qui se passent entre les corps, elle enrichit l'astronomie, la géognosie, la mécanique, l'hydrodynamique, la météorologie, la chimie ou la physiologie.

S'il arrive qu'un certain nombre de faits observés se rapportent les uns aux autres, s'il est possible de leur supposer un lien commun, ou ce que nous nommons une cause commune, à l'aide de laquelle on puisse prévoir des résultats, ces faits réunis deviennent une science; s'il devient possible de calculer les résultats, les faits réunis prennent le nom de science exacte ou mathématique.

Ainsi, les faits enchaînés par une théorie donnent une science, et les faits susceptibles de calculs donnent une science mathématique.

Ces heureuses circonstances qui permettent de lier les faits et même de les calculer, arrivent plus tôt ou plus tard dans le cours des observations ; elles dépendent ou de leur nombre et de leur exactitude, ou du génie de l'observateur ; elles embrassent une grande genéralité ou un petit nombre de faits, et dans l'ensemble des phénomènes naturels on trouve çà et là quelques points éclairés, séparés par des lacunes obscures. Ainsi, le système de l'attraction explique et rend calculable la marche des astres, l'oscillation des pendules et la chute des corps, sans pénétrer jusqu'à la constitution intime de ces mêmes corps. Les phénomènes électriques formaient une science par la supposition de deux fluides, elle devient exacte pour les phénomènes d'électro-motion.

De cette imperfection de nos connaissances sont nées les divisions de la science générale de la nature en plusieurs branches.

Si la science de la nature est si vaste qu'elle ne puisse être approfondie que par partie, si nous n'avons porté à l'état de

science que quelques-unes de ces parties; si l'étude abstraite des mathématiques pures, que nous n'avons considérée que comme un moyen d'étudier la nature, suffit pour absorber la vie et les facultés d'un homme du premier ordre, il n'en est pas moins nécessaire à tout homme d'avoir quelques notions de cette masse de faits et de leur enchaînement. Toute cette matière qui nous entoure sous tant de formes, diverses, tous ces phénomènes qui se reproduisent sans cesse autour de nous, réagissent sur notre être moral et physique; notre existence est enchaînée à toute la nature par des liens si étroits, que c'est presque nous étudier nous-mêmes que d'étudier ce qui nous environne, et c'est surtout au médecin que ces notions sont indispensables. Attaché à l'étude des désordres de l'économie animale et des moyens de les réparer, il devrait tout savoir et n'a le temps de rien approfondir. C'est pour lui surtout que l'on doit entreprendre ces ouvrages élémentaires qui sont en quelque sorte des extraits des connaissances humaines, et qui ne doivent contenir que des

choses vraies et essentielles. On pourra se dispenser souvent de lui apporter les preuves détaillées, il lui faut les résultats des autres sciences; il devra accepter ces résultats tout faits; le temps lui manque, et sa vie sera trop courte pour l'observation médicale.

Si donc on rassemble ce que l'observation, les considérations systématiques et le calcul, peuvent nous apprendre sur la nature, en laissant de côté ce qui est de simple description des êtres, ce qui tient à des actions intimes, et ce qui dépend de la vie, on aura une masse de faits à laquelle on pourra donner le nom de *physique*. Il faudra seulement remarquer que ce n'est pas là une science proprement dite; qu'elle n'a pas de lien commun; qu'elle emprunte à une foule de sciences particulières, et contient beaucoup de faits qui ne sont encore que recueillis ou observés, mais non classés et calculés.

On sentira mieux la vérité de ce que nous venons de dire, par l'exposition de la méthode que nous avons cru devoir suivre en rédigeant cet ouvrage; et cette méthode

était sans doute ce qu'il y avait de plus difficile, car nos modèles différaient surtout par ce poiut les uns des autres ; et le choix était d'autant plus embarrassant, que les meilleurs traités ne nous ont pas toujours paru les plus méthodiques. Voici les principes qui nous ont dirigé :

Nous avons d'abord établi que l'ouvrage devait être élémentaire, et ne rien contenir qui ne pût être entendu par tout le monde. En conséquence nous nous sommes déterminé pour la marche synthétique. En effet, la méthode analytique, marchant du simple au composé, est le guide des découvertes : elle doit présider aux ouvrages complets et approfondis ; mais la synthèse est la méthode des commençans. Quelques lois générales, quelques principes étant connus, les faits particuliers s'arrangent ensuite et se conçoivent aisément. Les exceptions, les anomalies, qui font l'objet spécial des études profondes, doivent disparaître pour les commençans ; elles arrêtent, elles embarrassent l'esprit, et la route doit être aplanie pour ceux qui commencent à la parcourir. C'est ainsi

que les règles d'une grammaire facilitent l'étude d'une langue, qui toutefois ne s'apprend complètement que par la lecture des bons écrivains.

D'après ces principes nous avons traité dans un premier Livre de notions générales et de lois abstraites, sans applications à aucun corps.

Le premier Chapitre renferme des notions sur la matière et ses propriétés, les corps en général et leurs divisions.

Le second Chapitre renferme les lois abstraites de l'équilibre et du mouvement.

Le troisième Chapitre traite des forces ou puissances naturelles, ou des causes auxquelles on a coutume de rapporter les mouvemens.

Le second Livre traite des corps solides, des propriétés de la matière considérées dans ces corps, et de la mécanique.

Le troisième Livre contient les mêmes applications aux corps liquides.

Le quatrième Livre traite, dans le même esprit, des fluides élastiques et de l'air en particulier.

Il était impossible de faire entrer dans ce

premier tableau des phénomènes naturels, les effets que l'on a coutume d'attribuer au calorique, à la lumière et à l'électricité. Nous en avons formé trois nouveaux Livres qui terminent l'ouvrage.

Dans cette manière de considérer l'ensemble des faits qui composent la physique, les commencemens sont assez difficiles à comprendre; mais quand on a retenu les principes, on entend avec facilité la nombreuse série d'applications qui en découle. Il en résulte un système coordonné qui satisfait l'esprit, et qui forme la base de connaissances sur laquelle viennent ensuite s'arranger les groupes isolés des faits mal connus, qu'aucune théorie ne sait encore expliquer et rallier.

TRAITÉ
ÉLÉMENTAIRE
DE PHYSIQUE
GÉNÉRALE ET MÉDICALE.

LIVRE PREMIER.

CHAPITRE PREMIER.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES.

1. La Physique est cette partie des sciences naturelles qui s'occupe des phénomènes inorganiques accessibles aux sens, et des lois qui président à ces phénomènes.

Les mots *science physique*, signifient, dans le sens étymologique, science de la nature; mais l'usage a modifié et restreint cette valeur primitive, et la science de la nature se compose actuellement, en effet, 1° de l'histoire naturelle, qui classe et décrit les différens êtres; 2° de la physique, qui étudie les phénomènes sensibles des corps bruts; 3° de la chimie, qui en étudie les actions intimes; 4° de la physiologie, qui étudie les phénomènes ou fonctions des êtres vivans.

La physique bornant ses études à l'examen des phénomènes accessibles aux sens, qui peuvent se passer dans les corps bruts, embrasse cependant une immense étendue et entretient des rapports intimes avec les autres branches des connaissances naturelles.

Pour bien entendre la définition de la physique, qui ne doit être que l'expression de son but, il est important de remarquer que la nature se compose de corps doués d'états et de propriétés divers et animés de forces qui les font réagir les uns sur les autres : ces forces paraissent soumises à des lois immuables que le génie de l'homme a pu découvrir ; en sorte que le physicien doit étudier les corps, observer les phénomènes, et calculer les effets d'après la connaissance des lois générales.

L'étude des corps peut être faite sous un grand nombre d'aspects différens. Le naturaliste voit principalement en eux les caractères extérieurs qui peuvent servir à les distinguer et à les classer. Le chimiste s'occupe principalement de leur aptitude à produire telle ou telle action intime et réciproque; tous deux particularisent beaucoup leurs études et s'occupent spécialement des individus. Le physiologiste s'attache principalement à observer les êtres organisés et à bien connaître leur structure intérieure, d'où dépendent essentiellement leurs fonctions. Quant au physicien, il étudie plutôt la matière en général que les corps en particulier,

parce que tous les corps ont pour lui des propriétés communes importantes; il ne distingue ces corps qu'en un certain nombre de grandes classes dont les propriétés diffèrent sensiblement. C'est ainsi que le physicien recherche la connaissance de la matière considérée en général, des corps solides, des corps liquides et des fluides aériformes, considérés en masse, tandis que l'or et le plomb, l'eau et l'acide sulfurique, l'oxigène et l'azote ne diffèrent à ses yeux que sous les rapports de leur poids, de leur densité, de leur opacité, de leur transparence, etc.

L'observation des phénomènes est beaucoup plus simple et plus facile pour le physicien que pour ceux qui cultivent les autres branches des connaissances naturelles; en effet, les phénomènes de son ressort sont accessibles aux sens: le choc de deux corps, l'action d'un levier, l'écoulement d'un liquide, la dilatation d'un gaz, peuvent être observés directement, et l'intensité de l'action devient même susceptible d'une mesure mécanique. Il n'en est pas de même pour le chimiste ou le physiologiste, qui ont à étudier des phénomènes intimes dont ils ne peuvent juger que par les conséquences et qui se trouvent toujours plus ou moins compliqués.

Cette facilité de l'observation directe des phénomènes a donné lieu à l'invention d'un grand nombre de machines destinées à les reproduire à volonté et même à les mesurer, et l'usage de

ces machines a donné lui-même naissance à une sorte de physique spéciale qui a été nommée *Physique expérimentale.* L'emploi de ces machines a pour avantage principal d'isoler les phénomènes et de les présenter dans des cas simples où il devient facile d'en apprécier les causes et d'en suivre les lois. Par exemple, le choc des corps est un des phénomènes les plus communs dans l'ordre naturel; mais on ne saurait s'en faire une idée bien exacte, qu'en déterminant ce choc entre des sphères de volumes et de poids connus, mises en mouvement par des forces appréciables. Nous observerons seulement ici que l'isolement absolu d'un phénomène physique est impossible, même avec les machines les mieux construites, et qu'il se rencontre toujours quelques circonstances, comme le frottement, la roideur des fils, etc., qui viennent modifier le résultat et l'empêchent de se trouver rigoureusement conforme à ce qu'il devrait être, d'après les lois générales connues; en sorte que les machines doivent être plutôt considérées comme un moyen de représentation sensible des phénomènes, que comme un moyen d'expression rigoureuse.

Le physicien est encore plus heureux sous le rapport de l'étude des lois qui président aux phénomènes, que pour l'observation du fait lui-même. Les phénomènes physiques s'enchaînent les uns aux autres, se renouvellent avec constance et régularité dans les circonstances semblables, et dès-lors on a

pu les attribuer à ce qu'on a nommé des propriétés de la matière, ou à des puissances naturelles, dont l'exercice régulier constitue ce qu'on a nommé des lois. Ces lois se sont trouvées en petit nombre et tellement constantes, qu'en les admettant, on a pu soumettre au calcul tous les phénomènes physiques, et par conséquent les prévoir avec certitude dans des circonstances données. Par exemple, tous les corps qui sont à notre disposition tendent à s'approcher de la masse du globe terrestre; c'est ce que l'on attribue à une force agissant sur la matière. La chute des corps s'opère par un mouvement continuellement accéléré, qui leur fait parcourir dans des temps successifs des espaces qui sont comme les carrés de ces temps, ce qui constitue la loi; en sorte que de quelque hauteur et dans quelque circonstance qu'un corps quelconque vienne à tomber, le physicien peut toujours calculer et prévoir avec exactitude le temps que durera sa chute.

Les méthodes analytiques générales qui servent à exprimer en mathématique, par une seule formule, tous les cas possibles qui peuvent se rencontrer dans les rapports d'un certain nombre de quantités, ou même à y découvrir de nouveaux rapports, ont été appliquées avec un grand succès à représenter toutes les variétés que la différence des circonstances peut apporter dans la manifestation d'un phénomène physique. C'est ainsi que le calorique pénétrant, dans des temps connus, des

longueurs déterminées de certains corps d'une nature et d'une forme particulières, on a pu, sur ces bases, arriver à une expression mathématique générale qui représente la marche du calorique dans tous les corps, quelles que soient leur nature et leurs propriétés.

On conçoit que ces méthodes mathématiques ont le très-grand avantage, en généralisant ainsi un certain nombre de faits bien observés, de dispenser le physicien d'une multitude d'expériences particulières, et en outre de donner à l'appréciation des phénomènes un degré d'exactitude que l'expérience elle-même ne saurait presque jamais offrir. Aussi, la physique, étudiée sous ce point de vue, et qu'on a nommée *Physique analytique*, a-t-elle joui d'un très-grand crédit depuis l'époque du perfectionnement des méthodes scientifiques. On peut, en effet, obtenir, avec un tube de verre et un bâton de cire à cacheter, tous les phénomènes essentiels pour fonder la théorie entière de l'électricité ; tous ceux qu'on obtient avec les machines destinées à cet usage pouvant être facilement prévus ou imaginés.

Cependant il faut convenir que peu d'hommes ont ou peuvent acquérir, dans la position sociale où ils se trouvent, des connaissances mathématiques assez profondes pour concevoir ainsi *à priori* la production des phénomènes, et que d'ailleurs les effets saillans que produisent les machines, servent utilement à faire comprendre et à fixer dans

la mémoire les points essentiels de la physique.

Nous avons conclu des considérations précédentes, que des élémens de physique particulièrement destinés aux élèves en médecine devaient contenir l'indication des expériences nombreuses que nous répétons dans nos leçons publiques, et que nous devions plutôt présenter les résultats généraux obtenus par des méthodes mathématiques, que ces méthodes elles-mêmes, qui sont, entre les mains du physicien, le plus précieux des instrumens, mais qui ne sauraient être comprises par le plus grand nombre de nos lecteurs.

Il est facile d'imaginer que la physique proprement dite doit fournir de nombreuses applications aux sciences, aux arts et même aux besoins domestiques; mais la plus précieuse pour nous est celle que nous pouvons faire des lois de la physique générale à un très-grand nombre de phénomènes de l'économie animale, qui, pour s'opérer dans un être organisé, et quoique soumis dans leurs causes à toute l'influence de la vie, n'en suivent pas moins dans leur marche les lois générales qui les régiraient dans un corps brut. C'est ainsi que, quoique la cause de contraction d'un muscle soit en dehors des connaissances physiques proprement dites, et soumise aux lois de la vie, étant donnée cette contraction, le muscle agira sur l'os auquel il s'attache, comme sur un levier inorganique, et le mettra en mouvement suivant les principes rigoureux de la physique générale.

C'est sous ce point de vue que nous qualifions ici la science de *Physique médicale*, en tant que nous indiquerons les applications dont elle est susceptible dans l'investigation des phénomènes physiologiques. Au reste, elle mériterait encore cette épithète particulière, en raison des développemens que nous nous proposons de donner relativement à l'influence que les agens physiques extérieurs peuvent exercer sur l'économie animale.

DE L'ESPACE EN GÉNÉRAL.

2. L'espace ou l'étendue peut être, jusqu'à un certain point, considéré indépendamment de la matière ou des corps. En effet, notre système planétaire et les milliers d'étoiles fixes que nous apercevons avec nos télescopes, sont placés dans un vide immense qui existerait encore quand tous ces astres seraient anéantis; et par-delà ces astres même on peut toujours concevoir un espace. Il est impossible de concevoir à l'espace une limite quelconque; c'est pourquoi l'on doit dire qu'il est *indéfini*.

3. Cette manière générale de considérer l'étendue n'est applicable à aucun de nos besoins ; il est donc nécessaire de la déterminer. C'est ce que nous faisons au moyen de la *mesure;* et les géomètres ont d'abord considéré que cette mesure pouvait se faire dans toutes les directions possibles, qui se réduisent à trois, qui ont été nommées *longueur*,

largeur, et *profondeur*. Tout espace jouit de ces trois dimensions ; mais les géomètres font souvent abstraction des unes ou des autres, et même de toutes les trois. Ils disent qu'un point n'a d'étendue dans aucun sens ; que la ligne n'en a qu'en longueur ; que le plan n'a pas d'épaisseur, et que le solide jouit des trois dimensions : de là les idées de *longueur* ou de distance, de *surface*, et de *volume*. En physique, ces abstractions deviennent impossibles ; car le plus petit atôme de matière a nécessairement trois dimensions.

La mesure de l'étendue, dans un des sens que nous venons d'indiquer, ne peut être pour nous que le résultat d'une comparaison, car rien n'est petit ou grand par lui-même ; et le premier de ces moyens de comparaison est nécessairement le *moi physique*, ou le corps même de l'individu qui cherche à connaître l'étendue. On prend donc une idée de mesure d'une étendue quelconque, en comparant cette étendue avec ce corps ou une partie de ce corps : de là sont venues les mesures qu'on a nommées un *pied*, un *pouce*, une *palme*, une *coudée*, etc. Les dimensions du corps de l'homme n'étant pas constantes, on a formé des *étalons* d'une dimension fixe. Lorsque l'étendue excède de beaucoup la dimension des mesures, on répète la comparaison, et on obtient des nombres de mesures, auxquels, pour la commodité de l'expression, on a donné des noms comme celui de *toise* pour une étendue de six

pieds, et celui de *lieue* pour une étendue de 2000 toises.

Les étalons successivement établis par les différentes nations, n'ayant rien de commun et rien de bien constant en eux-mêmes, on a imaginé en France de prendre pour objet de comparaison des étendues, le cercle même de la terre que nous habitons. La dix-millionième partie du quart de ce cercle, qui équivaut à 36 pouces, 11 lignes, 296 millièmes de ligne de l'ancien *pied* de France, a reçu le nom de *mètre*, et cette longueur sert d'objet de comparaison pour toutes les mesures possibles. En la divisant de dixième en dixième, on obtient les *décimètres*, *centimètres et millimètres*; en la multipliant par cent, par mille, etc., on obtient les *hectomètres*, les *kilomètres*, etc. En la comparant à deux dimensions d'une étendue, on obtient les mesures de superficie dont le mètre quarré est l'unité. En l'appliquant aux trois dimensions, on obtient le mètre cube, qui est l'élément des mesures de volume ou de solidité.

Enfin, comme nous le verrons, en parlant du poids, on a trouvé le moyen d'en tirer un élément de pesanteur, par la quantité d'eau pure qui présente exactement un décimètre dans ses trois dimensions.

4. L'étendue limitée dans un ou plusieurs sens représente des figures que l'on nomme géométriques. Ainsi la ligne est l'étendue limitée en longueur. Cette ligne peut être droite ou courbe;

une seule ligne courbe peut limiter un espace dans deux dimensions et produire une surface finie. Tel est le cercle, dont tous les points sont également distans de celui qu'on nomme centre. Une ou deux lignes droites ne peuvent limiter une étendue en surface ; mais trois lignes droites peuvent produire tous les genres de triangles ; un plus grand nombre de lignes produit les polygones réguliers ou irréguliers.

Des surfaces limitées par des lignes peuvent enfermer un espace dans les trois dimensions ; mais il faut au moins quatre triangles, comme dans la pyramide la plus simple ; ou cinq surfaces, comme dans le prisme triangulaire. Un plus grand nombre de surfaces donne tous les polyèdres réguliers ou irréguliers.

Enfin il est des solides limités par des surfaces courbes. On nomme *solides de révolution*, ceux que l'on peut considérer comme engendrés par la rotation d'un plan autour d'une ligne. Ainsi la sphère peut être supposée formée par la rotation d'un cercle autour de l'un de ses diamètres ; le cylindre, par la rotation d'un quarré autour d'un de ses côtés ; et le cône, par la rotation d'un triangle rectangle autour d'un de ses côtés.

5. L'application de la mesure, ou la comparaison d'une dimension primitive donnée, avec celles que présentent les différens corps, n'est pas toujours aussi simple qu'on l'imaginerait au premier coup-d'œil. S'il est question de mesurer une

ligne droite, il suffit de lui appliquer la mesure droite dont on fait usage, pour en déterminer la longueur; mais si la ligne à mesurer est courbe, l'application exacte devient impossible, et le calcul lui-même ne donne que des approximations plus ou moins parfaites. C'est ainsi que la circonférence d'un cercle est à son diamètre, comme 3 est à 1, comme 22 est à 7, ou comme 3,1415926 est à 1, par approximation toujours croissante, et qui ne saurait jamais arriver à l'exactitude absolue.

La mesure des surfaces est soumise à des règles un peu plus complexes. S'il est question d'un carré régulier ou de tout autre rectangle, et que chacun de ses côtés représente 100 millimètres, on conçoit que les 100 millimètres de la base, pour 1 millimètre de la hauteur, présenteront 100 petits carrés de 1 millimètre chacun. Si l'on considère 2 millimètres de hauteur, il y aura 200 petits carrés de 1 millimètre; et si l'on continue ainsi pour les 100 millimètres de la hauteur, on aura dans la surface du carré 10,000 millimètres carrés. Il est donc évident qu'on obtient la surface d'un carré en multipliant sa base par sa hauteur. Or on démontre en géométrie que tous les parallélogrammes construits sur la même base et avec la même hauteur sont égaux en surface. On obtient donc la surface de tout parallélogramme, en multipliant sa base par sa hauteur. On démontre encore en géométrie que tout triangle est la moitié d'un parallélogramme cons-

truit sur sa base et sa hauteur ; on obtient donc la surface de tout triangle en multipliant sa base par la moitié de sa hauteur. Quant aux surfaces limitées par des lignes courbes, il est quelquefois très-difficile de les obtenir ; et dans tous les cas elles sont approximatives. Pour le cercle, on le suppose formé d'une infinité de triangles, dont les bases sont à la circonférence et les sommets au centre ; et l'on obtient par conséquent sa surface, en multipliant la circonférence ou la somme de toutes les bases par la moitié du rayon, hauteur commune de tous les triangles.

Quant aux mesures de solidité, en suivant la même marche de raisonnement, on voit que la base d'un cube ou de tout autre parallélipipède qui présenterait 100 millimètres de côté, offrirait 10,000 millimètres carrés ; que si l'on suppose un seul millimètre de hauteur, on obtiendra 10,000 millimètres cubes ; et ainsi de suite pour chaque millimètre de hauteur qu'on ajoutera ; en sorte que si le solide a 100 millimètres de hauteur, il contiendra 100 fois 10,000 millimètres cubes ou 1,000,000 de millimètres cubes. Il est donc évident qu'on aura toujours la solidité d'un semblable corps, en multipliant la surface de sa base par sa hauteur. Mais comme on démontre en géométrie qu'une pyramide est toujours le tiers d'un prisme qui a même base et même hauteur, on obtient la solidité de toutes les pyramides en multipliant la surface de leur base par le tiers de leur hauteur. Les

mêmes règles s'appliquent au cylindre et au cône, qui sont considérés comme un prisme et une pyramide ayant une multitude de faces. Quant à la sphère, on peut la considérer comme formée d'un très-grand nombre de pyramides dont les bases sont à la surface et les sommets au centre ; on obtient donc la solidité de la sphère en multipliant sa surface, somme de toutes les bases, par le tiers de son rayon, hauteur commune de toutes les pyramides.

Ce petit nombre de règles suffit pour toutes les mesures usuelles, attendu que toutes les surfaces se réduisent facilement en triangles, et presque tous les corps solides en parallélipipèdes ou en pyramides. C'est ainsi qu'on obtient très-approximativement la surface du corps de l'homme, en y traçant un grand nombre de triangles qui se trouvent alors sensiblement rectilignes, et multipliant leur base par la moitié de leur hauteur.

DE LA MATIÈRE ET DES CORPS.

6. Pour peu que nous réfléchissions sur nos sensations, il nous est bientôt démontré que nous existons nous-mêmes, et que nous sommes entourés d'autres êtres qui affectent nos sens. On a donné le nom de corps à ces êtres qui affectent ordinairement nos sens ; et comme ils ont tous quelque chose de commun, malgré les variétés qu'ils présentent, on suppose qu'ils ont une base

commune, et qu'ils sont formés d'un même être, que l'on a nommé *matière*.

Ainsi l'on entend par matière *ce qui compose les corps*, et par corps *tout ce qui affecte nos sens*; cette dernière définition n'est peut-être pas exacte, car nous ne pouvons pas douter que dans beaucoup de cas nos sens sont en rapport avec des corps sans en être affectés; tandis que d'autre part nous sommes susceptibles d'éprouver de vives sensations en l'absence du corps qui semble les produire. Nous trouverons, par la suite, plus exact de dire que l'on doit nommer corps, tout ce qui obéit à l'attraction.

La matière en général, et les corps en particulier, présentent des *propriétés* et produisent des phénomènes; ces propriétés et ces phénomènes sont réellement tout ce que nous savons de positif; nous en acquérons la connaissance par la simple *observation*, ou par des *expériences*. L'observation consiste à fixer notre attention sur les phénomènes qui se produisent naturellement; l'expérience a pour objet de produire exprès un phénomène, afin de l'observer.

7. En faisant usage de ces deux moyens, on reconnaît aisément qu'il est un certain nombre de propriétés qui appartiennent indistinctement à tous les corps, comme l'*étendue*, l'*impénétrabilité*, la *mobilité* et la *divisibilité*; c'est-à-dire que sous quelque forme corporelle que se présente la matière, elle occupe une place dans l'espace; que cette place occupée par elle ne peut pas l'être en même

temps par une autre matière ; que cette place peut changer, ou que la matière qui est dans un lieu peut être portée dans un autre ; enfin que cette matière ayant une étendue, peut être partagée par moitiés, par quarts, etc.

On nomme ces quatre conditions communes, *propriétés générales de la matière.*

Les corps jouissent en outre d'un grand nombre d'autres propriétés qui dépendent de leurs états, comme la dureté, l'élasticité, etc. : on les nomme *propriétés particulières.*

Nous devons nous occuper ici des propriétés générales de la matière, nous nous occuperons ensuite de celles qui distinguent les corps dans les trois états de solides, de liquides et de fluides aériformes ; nous traiterons plus tard de celles qui sont tout-à-fait particulières à certains corps que l'on a nommés *impondérables.*

DE L'ÉTENDUE.

8. L'étendue est cette propriété de la matière, en vertu de laquelle cette matière occupe une portion déterminée de l'espace.

Les philosophes ont beaucoup discuté sur cette propriété de la matière ; ils l'ont considérée comme tellement identifiée avec elle, que l'une formait l'essence de l'autre. Ils ont dit qu'il y avait étendue toutes les fois qu'il y avait contiguité de particules plus ou moins nombreuses, et par conséquent *divisibilité.*

L'étendue qu'occupe la matière se mesure suivant les principes que nous avons établis pour l'espace (5).

La manière dont l'étendue d'un corps est limitée produit ce que l'on nomme la *forme* ou *configuration ;* mais on conçoit que l'étendue matérielle n'admet aucune des abstractions que les géomètres ont introduites, puisqu'en effet la matière est nécessairement étendue dans tous les sens. On distingue cependant dans un corps sa longueur, sa largeur et son épaisseur; et ces dimensions réunies constituent ce que l'on nomme son *volume.*

L'étendue de la matière, ou la place qu'elle occupe en apparence dans l'espace, n'a aucun rapport avec la quantité absolue de cette matière, parce que les particules qui la composent, tout en formant un corps ou une masse quelconque, ne se touchent pas les unes les autres; qu'il y a au contraire entre elles des espaces plus ou moins grands, suivant l'espèce de matière et son état particulier; en sorte que nous ne connaissons pas d'espace qui, à la rigueur, puisse être considéré comme absolument rempli de matière proprement dite.

Les intervalles qui existent dans les corps entre les particules de matière portent le nom de *pores ;* et cette disposition est si générale, qu'on en a fait une propriété de la matière, sous le nom de *porosité.* Nous ne la considérons ici que comme circonstance de la matière étendue

9. *De la Porosité.* — Tous les corps étant formés de particules matérielles qui ne se touchent pas, et aucun moyen n'ayant encore été découvert, d'amener un corps quelconque à un tel état que ses molécules ne puissent plus se rapprocher davantage, on doit considérer la porosité comme inhérente à la matière.

Beaucoup de considérations tendent même à prouver que les intervalles qui existent entre les molécules des corps ont beaucoup plus d'étendue que les molécules matérielles elles-mêmes.

10. On nomme masse d'un corps la somme des particules matérielles dont il est composé. On nomme volume d'un corps la place qu'il occupe dans l'espace sous les trois dimensions. Il est facile de concevoir que, sous le même volume, il peut y avoir un nombre de particules plus ou moins grand, suivant l'étendue des intervalles qui les separent; et ce nombre plus ou moins considérable de particules, sous un volume donné, constitue la *densité* d'un corps.

Un corps est d'autant plus dense, qu'il contient plus de particules matérielles sous un volume donné : par exemple, l'or est plus dense que le bois, le bois plus dense que l'air. On dit, en termes abstraits, que la densité est le rapport de la masse au volume : on l'obtient par conséquent en divisant la masse par le volume.

Le seul moyen que nous ayons d'apprécier le nombre relatif de particules matérielles, ou la

masse d'un corps, consiste à déterminer son poids, qui n'est autre chose que la somme des puissances de l'attraction agissant sur toutes les particules du corps.

11. Une foule de circonstances naturelles démontrent la porosité des corps.

1°. Si l'on mesure avec exactitude le volume d'un corps à la température ordinaire, et qu'ensuite on refroidisse ce corps, on trouve, en le mesurant de nouveau, que son volume a sensiblement diminué : cela arrive même aux corps les plus denses. Or, il est clair que les molécules du corps ne se touchaient pas, puisqu'elles ont pu se rapprocher.

2°. Il est une foule de corps que l'on nomme *poreux*, et dans lesquels les espaces vides sont si grands, que d'autres corps s'y introduisent avec beaucoup de facilité. C'est ainsi que l'eau pénètre l'éponge, les bois tendres, le charbon, etc. Une espèce d'agathe que l'on nomme *hydrophane*, présente, malgré sa dureté et sa densité, un phénomène du même ordre : lorsqu'elle est sèche, elle n'est pas transparente ; si on la plonge dans l'eau, elle en absorbe un sixième de son poids et devient transparente.

On fait en physique une expérience qui prouve la porosité des corps. On fait le vide, à l'aide de la machine pneumatique, sous un récipient cylindrique et fort élevé, qui n'est fermé supérieurement que par une peau de buffle sur laquelle on

a déposé du mercure, substance qui ne la traverse pas naturellement; mais aussitôt que le vide est fait, la pression de l'air extérieur fait passer le mercure à travers la peau, et on le voit tomber en pluie fine dans le récipient.

12. On a coutume de citer, comme un exemple frappant de la porosité des corps, la grande quantité de sueur ou de transpiration insensible qui s'échappe sans cesse à travers la peau de l'homme: il est impossible de trouver un exemple plus mal choisi. Cette transpiration est évidemment apportée à la surface de la peau par des vaisseaux particuliers, qui doivent être en continuité avec le système circulatoire général. Les ouvertures qui doivent exister dans la peau ne sont donc point des pores, mais bien les extrémités de ces vaisseaux. La transpiration est une *sécrétion* ou une *exhalation*, et non une *transsudation*. Il est même évident que la vie ne saurait se maintenir si les membranes du corps jouissaient de la même porosité que les autres corps naturels, car tous les fluides se confondraient bientôt les uns avec les autres; tandis que les fonctions de la vie dépendent principalement de leur isolement.

Cette disposition exceptionnelle des membranes vivantes est d'autant plus sensible, qu'aussitôt après la mort elles deviennent effectivement poreuses, et laissent transsuder les liquides, qui se mêlent alors les uns aux autres.

On a confondu, dans cette fausse et dangereuse

application à l'économie animale, l'état de la peau vivante et adhérente aux autres organes, avec celui de la peau morte et séparée du reste du corps, et l'on conçoit que, dans cette dernière, tous les vaisseaux exhalans étant rompus, laissent dans son tissu le grand nombre de petites ouvertures qui permettent le passage des liquides.

DE LA MOBILITÉ.

13. La mobilité est cette faculté dont jouissent toutes les particules de la matière, de pouvoir être transportées d'un lieu dans un autre. Ce déplacement porte le nom de *mouvement*. Si la mobilité appartient à la matière, il n'en est pas de même du mouvement : ainsi, la matière est susceptible d'être mue, sans pourtant se mouvoir par elle-même. Les causes qui déterminent le mouvement portent le nom de *forces* ou de *puissances*. Le mouvement n'existe jamais sans force qui le détermine; mais ces forces peuvent exister et agir sans que le mouvement ait lieu; car deux forces opposées peuvent se faire équilibre ou se compenser mutuellement, en sorte que la matière reste en repos, quoique sollicitée par ces deux forces. On distingue un grand nombre d'espèces de mouvemens, dont nous traiterons par la suite. Mais ce qu'il y a de commun à tout déplacement de la matière, c'est ce qu'on nomme *vîtesse* et ce qu'on nomme *inertie*.

14. On entend par vîtesse l'espace qu'un corps

en mouvement peut parcourir dans un temps donné, et l'on conçoit que pour faire cette évaluation, il faut adopter une mesure comparative ou une unité de temps, comme on adopte une mesure comparative ou une unité d'étendue: par exemple, on prend ordinairement pour unité de temps la seconde et pour unité d'étendue le mètre; Cela posé, une masse de matière qui parcourrait un mètre de longueur dans une seconde de temps, aurait une vîtesse déterminée; et une autre masse qui parcourrait deux mètres de longueur en une seconde de temps aurait une vîtesse double.

Lorsqu'une masse de matière se meut avec une vîtesse donnée, chacune des molécules qui la composent est nécessairement animée de la même vîtesse; ainsi le mouvement réel est égal à la vîtesse multipliée par le nombre des molécules ou par la masse du corps, et ce produit se nomme *quantité de mouvement*.

La nature ou l'essence des forces qui meuvent les corps nous étant absolument inconnue, nous ne pouvons les apprécier ou les comparer que par la quantité de mouvement qu'elles impriment aux corps.

15. On entend par *inertie* cette propriété de la matière qui la fait persévérer dans l'état de repos ou de mouvement où elle se trouve, ensorte que si un corps est en repos, il y restera jusqu'à ce qu'une puissance quelconque le mette en mouvement, et que si un corps est actuellement en

mouvement; il se mouvra uniformément jusqu'à ce qu'une puissance quelconque vienne détruire son mouvement acquis. Cette proposition n'est autre chose qu'une nouvelle expression de l'inaptitude de la matière à se donner par elle-même aucun mouvement; car par la raison que la matière n'a pas en elle de puissance motrice pour lui faire quitter l'état de repos, elle n'a pas non plus en elle de quoi détruire un mouvement acquis; ce qui supposerait une puissance opposée.

Les physiciens ont souvent fait de l'inertie une puissance ou une résistance, parce qu'on croit sentir, en effet, lorsqu'on frappe un corps immobile avec la main, que ce corps résiste au mouvement qu'on cherche à lui imprimer; mais nous verrons à l'article du choc des corps, que cette prétendue résistance n'est autre chose que le partage du mouvement entre le corps qui en jouit et celui qui en était privé.

DE LA DIVISIBILITÉ.

16. La divisibilité est en quelque sorte une conséquence nécessaire de l'étendue, car si une masse de matière occupe une fraction quelconque de l'espace, on peut toujours lui supposer deux moitiés, et chacune de ces moitiés en à deux elle-même, ce qui semble donner une progression décroissante sans limites. On a fondé sur de semblables considérations l'idée de la divisibilité in-

finie de la matière, qui a donné lieu à tant de vaines disputes.

Il faut d'abord remarquer que la matière est susceptible, par des moyens naturels ou artificiels, d'une division qui passe l'imagination: quelques fleurs suffisent pour répandre un parfum très-sensible dans une grande masse d'air qui se renouvelle sans cesse; si l'on dépose un grain de musc dans une chambre dont la masse d'air se renouvelle plusieurs fois par jour, cet air sera pendant plusieurs années imprégné de l'odeur du musc, qui, cependant, au bout de ce temps, n'aura pas perdu sensiblement de son poids.

Les opérations de nos arts mécaniques, si grossières, en comparaison de celles de la nature, offrent cependant des exemples remarquables de division. Un grain d'or, ou 53 milligrammes, réduit en feuilles par le marteau, peut couvrir une surface de 50 pouces carrés, chaque pouce carré a 27 millimètres de côté, et chaque millimètre peut être aisément divisé en huit parties visibles, ce qui donne plus de deux millions de parties visibles à l'œil nu dans un grain d'or.

Un cylindre d'argent doré au moyen d'une once d'or ou 30 grammes, peut être réduit en un fil de 444 mille mètres de longueur ou 111 lieues; ce fil peut être aplati par un laminoir, il présente alors deux surfaces couvertes d'or dans tous leurs points; ces surfaces ayant un quart de ligne de largeur, peuvent être coupées en deux, ce qui pro-

duit quatre longueurs de 444 mille mètres chacune ; et chaque millimètre de cette étendue peut être divisé en huit parties visibles, ce qui donne plus de 14 billions de parties visibles dans une once d'or qui présente en masse un petit cube qui n'a pas plus de 12 millimètres ou 5 lignes 1/3 de côté.

Haüy a divisé mécaniquement le mica en lames qui réfléchissaient un beau bleu ; ce qui, d'après la règle de Newton, indique une épaisseur tellement petite, qu'il pourrrait y avoir 23,255 de ces lames dans une épaisseur d'un millimètre.

Les exemples les plus frappans de la division de la matière se trouvent certainement dans la nature vivante, car sans parler de l'extrême ténuité des petits canaux par lesquels sortent les fils nombreux qui, par leur réunion, forment un seul fil de l'araignée, canaux qui sont pourtant organisés et composés d'un grand nombre de parties différentes, les animaux microscopiques qui peuvent exister par milliers dans une goutte de liquide, sont souvent d'une organisation très-complexe ; ils exécutent des mouvemens rapides, poursuivent et dévorent leur proie ; leurs vaisseaux doivent être très-petits ; et si les globules du sang de l'homme n'ont qu'un trois centième de millimètre de diamètre, quel peut être celui des globules du sang d'un animal microscopique?

17. Une observation remarquable que le génie de Newton avait saisie et que la chimie moderne a

mise dans tout son jour, c'est que ces particules de matière dont la petitesse est presque infinie, et qui semblent encore susceptibles de division, sont cependant, par leur nature, inaltérables et indestructibles. Nous ne connaissons aucun moyen qui puisse anéantir la moindre parcelle de la matière, ou qui puisse même en altérer la moindre propriété. Les dernières particules de carbone qui entrent dans la composition d'un globule des fluides circulans d'un animal microscopique, jouissent de toutes les propriétés d'un morceau de charbon qui alimente nos foyers; on peut faire entrer un atôme de charbon dans une multitude successive de combinaisons, et le retrouver ensuite avec toutes les propriétés qu'il avait avant ces combinaisons: en sorte que, suivant l'expression du célèbre philosophe anglais, il semble que l'auteur de toutes choses ait voulu composer l'univers matériel de molécules indestructibles et douées de propriétés immuables.

18. Le système atômistique de Dalton, résultat si fécond et si brillant des succès de la chimie moderne, semble indiquer que les atômes ou les dernières particules de la matière ont pour chaque corps différent un poids relatif qui fait partie de leurs propriétés immuables; ce qui supposerait ou que la pesanteur agit diversement sur les différentes molécules, ou que la division de la matière s'arrête pour chaque corps à un terme particulier qui

produit des atômes plus ou moins gros, et par conséquent plus ou moins pesans.

On observe, en effet, que si l'on fond ensemble du soufre et du fer, on obtient une masse qui jouit de propriétés nouvelles ; que si l'on divise autant qu'on voudra, cette masse, chacune de ses parties les plus petites contiendra un peu de fer et un peu de soufre ; ce qui prouve invinciblement que dans la masse il y a au moins autant d'atômes de soufre que d'atômes de fer ; mais si l'on vient à rechercher quels sont les poids de fer et de soufre qui peuvent ainsi se combiner intimement, on trouve qu'il faut exactement 20 parties de soufre et 35 parties de fer en poids : or comme il doit y avoir dans les 20 parties de soufre autant d'atômes que dans les 35 parties de fer, il faut absolument que les poids des atômes isolés de soufre et de fer soient entre eux comme 20 est à 35 ; c'est-à-dire que l'atôme de soufre soit beaucoup moins pesant que celui de fer. Ce résultat est d'autant plus incontestable, que si l'on examine des combinaisons du soufre et du fer avec d'autres corps, on trouvera que les nombres 20 et 35 conviendront toujours pour représenter le rapport du poids de leurs atômes.

On peut conclure de ce qui précède, que tous les corps simples sont formés d'atômes de poids fixes et différens ; que nous ne connaissons pas le poids absolu de chaque atôme, mais bien le rapport qu'il y a entre ces différens poids.

Les corps composés de deux, de trois, de quatre corps simples, sont indécomposables par des moyens mécaniques; quoiqu'on les divise autant que possible, ils conservent toujours les mêmes propriétés : il doit donc exister des atômes *binaires*, *ternaires*, *quaternaires*, etc., et ces atômes doivent avoir un poids égal à la somme des poids des atômes simples qui entrent dans leur composition ; c'est ce que l'expérience confirme en effet. Voyez notre *Dictionnaire de Chimie*, au mot *Système atômistique*.

DE L'IMPÉNÉTRABILITÉ.

19. On nomme impénétrabilité cette propriété de la matière, en vertu de laquelle sa présence, dans un espace donné, en exclut nécessairement toute autre quantité de matière; on la dépeint encore plus exactement, en disant que deux particules de matière ne peuvent pas occuper la même place dans l'espace. On peut même ajouter que ce caractère constitue essentiellement la *matérialité ;* il en résulte que lorsque l'on mêle ensemble deux volumes de deux corps, le volume du mélange doit être égal à la somme des volumes des corps mêlés ou combinés : cela arrive en effet le plus souvent ; ainsi, lorsque l'on mêle un décimètre cube d'eau avec un décimètre cube de vin, on obtient deux décimètres cubes de mélange ; lorsque l'on vient à lancer une bille d'ivoire contre

une pareille bille en repos, la première prend la place de la seconde, mais après l'avoir chassée dans un autre lieu. L'impénétrabilité est même une condition indispensable à la communication du mouvement, car sans elle le corps en mouvement traverserait l'espace occupé par le corps en repos, sans agiter celui-ci.

On rend l'impénétrabilité sensible, même pour l'air, en renversant une cloche vide dans un vase plein d'eau : on voit alors que l'eau n'entre pas dans le vase, parce que l'air conserve la place qu'il occupait. On démontre la même chose en scellant la queue déliée d'un entonnoir dans le goulot d'un vase plein d'air, et en versant de l'eau dans l'entonnoir ; on voit que l'eau ne peut pas descendre dans le flacon, à cause de la résistance que lui fait éprouver l'air.

Il est une foule de circonstances dans lesquelles cette loi paraît, au premier aspect, contredite par les faits : ainsi un morceau de sucre se laisse pénétrer par l'eau sans augmenter de volume ; l'eau et l'alcool, l'eau et l'acide sulfurique diminuent de volume dans leurs mélanges ; mais toutes ces anomalies tiennent à la porosité : ainsi les molécules de l'eau n'occupent pas la même place que celles du sucre, elles pénètrent seulement les pores du sucre qu'elle remplit, en en chassant souvent l'air qui les occupait ; l'affinité de l'eau et de l'acide sulfurique est cause que les particules d'eau se placent très-près des molécules d'acide sulfurique,

ce qui les oblige à se rapprocher entre elles, etc.

L'impénétrabilité présentant de grandes variétés, suivant les différens états des corps, nous y reviendrons en appliquant les lois générales aux corps solides, liquides et gazeux.

DES CORPS.

20. On donne le nom de corps à tout ce qui compose matériellement la nature, et ce mot désigne plus particulièrement certaines masses ou réunions de particules de matière, qui par le nombre, la nature et l'arrangement de ces particules, contractent certaines propriétés spéciales que l'on ne regarde pas comme appartenant généralement à la matière. Ainsi des particules de soufre régulièrement arrangées, forment un *solide* cristallisé, qui est jaune, cassant, transparent. Ces mêmes particules, à un certain degré de chaleur, se meuvent librement les unes sur les autres, et présentent un *liquide*, qui n'a pas de forme par lui-même, qui est brun, etc. Enfin, à une température plus élevée, les particules de soufre écartées les unes des autres, forment une vapeur dont les propriétés physiques ne ressemblent en rien à celles du solide et du liquide. On voit donc que les mêmes particules de matière, tout en conservant les quatre propriétés générales qui la caractérisent partout, peuvent, en vertu de certaines causes ou circonstances que nous apprécierons plus tard, former

des corps différens qui présentent des propriétés spéciales.

On voit encore que la matière, lorsqu'elle entre dans la composition des êtres organisés, végétaux ou animaux, contracte et présente des propriétés absolument différentes de toutes celles qu'on peut remarquer dans les corps qui sont bruts ou inorganiques : par exemple, dans tous les corps bruts, et c'est un principe que nous avons établi d'une manière absolue, la matière est incapable d'aucun mouvement propre; dans les êtres organisés, au contraire, elle est dans un état de mouvement et de déplacement continuels, et ces mouvemens ne sauraient même s'expliquer par l'influence des forces ou puissances qui peuvent en produire dans la nature morte.

Ces considérations ont amené des divisions et subdivisions des différens corps naturels : on les distingue en corps *bruts* et corps *organisés*. On distingue les corps bruts, qui font ici l'objet spécial de notre étude, en corps *solides*, corps *liquides*, et corps *gazeux* ou *fluides aériformes*. Enfin, la nature, nous offrant des phénomènes de dilatation, de production de chaleur, etc., qui s'expliquent assez bien par la supposition de l'existence d'un corps que l'on a nommé *calorique*; des répulsions et des attractions se produisant entre les corps, dans certaines circonstances, sans qu'on puisse les expliquer par les lois générales, tandis qu'on s'en rend compte en admettant l'existence

d'un corps que l'on nomme *électricité*; et tous les phénomènes de la vision se concevant avec facilité, quand on suppose l'existence d'un fluide nommé *lumière*, on est convenu d'admettre, dans la nature, le calorique, l'électricité et la lumière, comme causes de ces divers phénomènes; et comme ces corps doivent être très-rares et très-élastiques, on les a comparés, par analogie, aux fluides élastiques; mais comme aussi on n'a jamais pu réussir à les peser, ni à les enfermer dans des vases, on les a nommés fluides *incoërcibles* ou fluides *impondérables*.

Nous devons donner ici les caractères qui fondent ces divisions et qui distinguent ces différens genres de corps.

21. *Corps bruts.* — Les corps bruts sont incapables d'action par eux-mêmes; en conséquence, ils persistent dans leur état tant qu'une cause extérieure n'agit pas sur eux. Lorsqu'ils s'accroissent, c'est toujours par superposition, ou par de nouvelles molécules qui s'appliquent à leur surface extérieure. Les formes qu'ils affectent quand leurs molécules sont parfaitement libres de toute influence étrangère, sont toujours rectilignes et planes pour les solides, et sphériques pour les fluides.

22. *Corps organisés.* — Les corps organisés sont doués d'actions propres; ils éprouvent, par conséquent, une série non-interrompue de changemens ou de modifications dans leur nature, même

sans le concours d'influences étrangères. Loin de persister dans un état constant, ils naissent, vivent et meurent. Aussi peut-on distinguer en deux mots les corps bruts des corps organisés, en disant que les premiers *existent*, et que les seconds *vivent*. Une partie de la durée de leur vie est employée à l'accroissement; mais il a lieu par intus-susception, c'est-à-dire que les molécules nouvelles s'introduisent et se placent dans l'intérieur de la masse primitive. Enfin, les corps organisés étant constamment formés à la fois de solides et de liquides, affectent des formes plus ou moins curvilignes, suivant les proportions de ces deux élémens, depuis le tronc d'un grand arbre, qui est rectiligne dans un sens, jusqu'à l'hydatide, qui est complètement sphérique.

23. *Corps solides.* — Les corps solides sont principalement caractérisés par cette circonstance, que les molécules de matière qui les composent, sont fixées les unes aux autres et dans la place qu'elles occupent, de manière qu'il faut une force appréciable et ordinairement assez considérable, pour les déranger de cette situation relative. C'est ainsi que les molécules d'un cube d'or ne peuvent être déplacées de manière à former des feuilles minces de ce métal, qu'en employant les percussions répétées du marteau. C'est précisément cette disposition qui donne aux corps solides des formes propres. Il est très-difficile de se rendre compte, dans l'état actuel de nos connaissances, des causes

de la solidité. On attribue, il est vrai, la fixité des molécules à une sorte d'équilibre qui s'établit entre une puissance que nous étudierons sous le nom *d'attraction*, et qui tend à rapprocher les molécules; et une autre puissance opposée, qui tend à les écarter, et qu'on attribue au *calorique*. Mais comme nous sommes forcés d'admettre que les particules de la matière ne se touchent pas, même dans les corps solides, il est difficile d'imaginer ce qui peut les empêcher de rouler les unes sur les autres, sans que leurs distances réciproques augmentent ni diminuent, ou de prendre spontanément la forme sphérique.

Quoi qu'il en soit, la solidité a des degrés et présente des modifications qui constituent les propriétés spéciales des corps solides, et que nous étudierons en appliquant les lois générales de la physique aux corps solides en particulier.

Les corps solides peuvent être cristallisés ou amorphes; mais il paraît constant que dans tous les cas où ces corps ne présentent point des polyèdres terminés par des arêtes droites et des faces planes, on doit l'attribuer à quelque cause perturbatrice qui s'est opposée à un certain arrangement symétrique et régulier que toutes les molécules de la matière tendent à prendre, lorsqu'elles se réunissent pour former un corps solide. Les lois qui président à cet arrangement symétrique, et qui dépendent en partie de la forme primitive régulière des particules matérielles, font l'objet

d'une belle science nommée *Cristallographie*, et dont nous donnerons une idée en traitant de la physique des corps solides.

24. *Corps liquides.* — Les corps liquides se nomment quelquefois aussi fluides; mais cette dernière expression est plus générale, et comprend à la fois les liquides et les gaz.

Les liquides proprement dits sont caractérisés par la facilité avec laquelle leurs molécules glissent et roulent les unes sur les autres, au moindre effort; ce qui leur permet de *couler*, de s'échapper en filets par de petites ouvertures, de pénétrer dans des porosités, etc. Malgré cette mobilité, les particules des liquides sont cependant retenues, à une certaine distance les unes des autres, par une attraction, différente en intensité pour chacun d'eux, mais toujours très-sensible.

L'adhérence réciproque des particules des liquides est apparente dans une goutte de mercure que l'on essaie de partager en deux par une pression à la partie moyenne; elle le devient encore davantage, lorsqu'on approche deux gouttes du même métal, car aussitôt qu'elles se touchent par un point, elles se pénètrent rapidement et se confondent pour n'en former qu'une seule.

On démontre et on mesure, en quelque sorte, cette adhérence par une expérience directe. Si l'on suspend horizontalement un plan de glace à l'un des bras d'une balance, et qu'on le mette en équilibre avec des poids placés dans le plateau de

l'autre bras; si l'on fait ensuite poser ce plan à la surface de l'eau, on trouve que pour le soulever, il faut ajouter un poids considérable dans le plateau; mais quand il est enlevé, on voit qu'une couche d'eau est restée adhérente au plan de glace; le poids employé a donc eu pour effet de détacher la couche liquide superficielle, du reste de la masse. Ainsi le poids est l'expression de la force avec laquelle cette couche superficielle adhérait aux autres particules de la masse d'eau.

Les liquides affectent dans l'état ordinaire une foule de formes très-variées, qui dépendent des influences extérieures, et que nous expliquerons en appliquant les lois générales aux liquides en particulier. Mais lorsqu'une masse liquide quelconque est abandonnée à elle-même, et parfaitement libre d'influences étrangères, elle prend constamment la forme sphérique.

On peut conclure ce fait *à priori* des considérations mathématiques, car on démontre que toutes les molécules jouissant d'une égale puissance d'attraction, et ayant la même masse, la sphère est la seule forme dans laquelle toutes les forces soient en équilibre; et que les choses se passent exactement de la même manière que si les attractions s'exerçaient toutes au centre de la sphère; auquel cas, pour satisfaire à des puissances égales, les molécules de chaque couche concentrique doivent se trouver à une égale

distance du centre, ce qui n'arrive que dans la forme sphérique.

La même proposition devient sensible par une foule de circonstances vulgaires. Si on observe de très-petites gouttes de mercure placées sur un corps humide qui exerce peu d'attraction sur ce métal, ces gouttes paraîtront sphériques; et si on en réunit deux, elles ne formeront plus qu'une seule sphère; si on laisse tomber doucement une goutte d'eau dans l'air, on la verra former une sphère presque parfaite; enfin, pour obtenir du plomb de chasse, on fond le métal et on le laisse tomber en pluie d'une assez grande hauteur, pour qu'il ait le temps de se figer en route, et l'on reçoit au bas des sphères solides, très-régulières. Nous ne citons point ici l'exemple de notre globe lui-même, et surtout de sa partie liquide, parce qu'il ne peut être bien compris qu'en traitant de l'attraction.

Les particules de la matière qui composent les corps liquides, semblent devoir être sphériques à cause de leur mobilité; cependant il est constant que la plupart des corps liquides peuvent devenir solides en tout ou en partie, et qu'alors leurs molécules se montrent polyédriques: on suppose que dans les liquides, ces petits corps anguleux sont environnés d'une sorte d'enveloppe de calorique qui prend la forme de sphère. La liquidité a des degrés qui donnent lieu aux diverses consistances que l'on nomme *oléagineuse*,

syrupeuse, etc., et même on reconnaît un état moyen entre la solidité et la liquidité, que l'on nomme *mollesse*, tel est celui de la cire ou du suif.

25. *Fluides élastiques.* — Les fluides élastiques sont caractérisés par une répulsion constante de leurs molécules, qui produit en eux ce que l'on nomme leur *tension*, ou leur élasticité : loin qu'il soit nécessaire d'employer une force quelconque pour séparer leurs molécules, il faut au contraire en employer une pour les empêcher de s'écarter. Si un gaz était abandonné à lui-même dans l'espace, il en occuperait bientôt toute l'étendue ; et quand ce gaz est contenu dans une capacité, il en presse les parois de dedans en dehors avec toute l'énergie de cette puissance répulsive. On attribue la force de répulsion des gaz à la présence du calorique. Il résulte de cette propriété distinctive, que les gaz n'ont pas de formes propres, et qu'ils prennent toujours celles des capacités qui les contiennent; il en résulte aussi qu'ils n'ont point de densité fixe, puisqu'elle dépend de l'énergie avec laquelle on combat leur expansion, ou de la pression qu'ils supportent.

On voit que, dans les gaz, la puissance que nous avons nommée attraction est devenue tout-à-fait nulle, sans doute à cause du grand écartement des molécules; la forme de ces molécules doit, par la même raison, cesser de modifier les propriétés physiques : aussi les gaz se ressemblent-ils tous, excepté sous le rapport de la pesanteur,

qui, comme nous l'avons vu, paraît une propriété des atômes.

L'état gazeux présente deux modifications importantes ; tantôt cet étatsemble inhérent au corps qui ne peut jamais devenir liquide ou solide, comme on le voit pour l'oxigène ou l'hydrogène, c'est ce que l'on nomme fluide élastique *permanent* ou *gaz* proprement dit ; tantôt cet état ne persiste que dans certaines circonstances favorables, comme le degré de chaleur par exemple, et le corps revient aisément à l'état liquide, comme il arrive pour l'eau et l'alcool; et c'est ce qu'on nomme *vapeurs*.

Enfin il y a des gaz intermédiaires qui conservent habituellement leur état, mais qui peuvent devenir liquides sous de très-hautes pressions.

26. *Fluides impondérables.* — Si nous mettons ici au nombre des corps qui composent la nature matérielle, ce que l'on a nommé *fluides impondérables*, c'est-à-dire le calorique, la lumière et l'électricité, nous ne le faisons que pour indiquer l'ordre que nous nous proposons de suivre, attendu qu'il reste bien constant que ces prétendus corps ne sont autre chose que des suppositions qui représentent la cause, inconnue dans sa nature, de certains phénomènes. Et par exemple, si nous admettons l'existence d'un corps nommé calorique, c'est parce qu'en supposant l'existence de ce corps, en admettant que ses particules sont infiniment petites, que, réunies en nombre infini, elles n'ont aucun poids sensible ; qu'elles



peuvent librement pénétrer tous les corps de la nature; qu'elles ont pour ces différens corps des affinités diverses; enfin qu'elles se repoussent les unes les autres avec une force qui croît comme le carré de leur rapprochement : on explique et l'on peut soumettre au calcul un certain ordre de phénomènes qui ne se concevraient pas autrement.

CHAPITRE II.

NOTIONS GÉNÉRALES DU MOUVEMENT, DE L'ÉQUILIBRE, ET DE LEURS LOIS.

27. La nature ne se compose pas seulement autour de nous de masses matérielles en repos; il se produit sans cesse sous nos yeux des changemens dans leur état et dans leurs rapports; ces changemens portent le nom de *phénomènes*; ils se produisent naturellement ou par des expériences : ils sont faciles à apercevoir ou inaccessibles aux sens; mais dans tous les cas, en observant attentivement ces phénomènes, il est facile de remarquer que tous consistent essentiellement en un déplacement des particules matérielles ou en un *mouvement*; quelquefois cependant ce mouvement n'a pas lieu réellement, et le physicien doit tenir compte de la tendance au mouvement.

Les particules de la matière étant par elles-

mêmes incapables de se mouvoir, il faut qu'une cause quelconque vienne agir sur cette matière, et c'est à cette cause de mouvement que l'on a donné le nom de *force* ou de *puissance*.

Enfin l'exercice même de ces forces, quelles qu'elles soient, est soumis à des lois qu'il est indispensable de connaître pour concevoir le moindre phénomène naturel.

Nous devons donc étudier d'abord le mouvement en lui-même et ses différentes espèces; traiter ensuite des forces en général, et enfin donner les lois qui président à l'exercice de ces forces. Ces notions seront encore abstraites et indépendantes de leur application à telle ou telle espèce de corps; elles seront fort abrégées, car elles constituent une science que l'on a coutume de distiuguer de la physique sous le nom de *mécanique*.

DU MOUVEMENT.

28. On conçoit l'idée la plus simple et la plus générale à-la-fois du mouvement, en se représentant une particule matérielle qui change de place dans un espace sans limite, et pénétrable en tout sens pour la matière. Il est pourtant vrai de dire que dans la supposition abstraite que nous venons de faire, il serait absolument impossible de juger de la réalité du mouvement. La conviction de son existence résulte pour nous de la comparaison que nous faisons entre

un corps qui se meut et d'autres corps qui sont immobiles ; ou qui se meuvent d'une autre manière. Ainsi le mouvement d'une voiture sur une route, d'un bateau sur une rivière, devient évident par les changemens de relation qui surviennent entre ces deux corps et les objets fixes près desquels ils passent. Le mouvement de rotation de la terre sur son axe peut être apprécié en observant les rapports variés qui s'établissent entre les différens points de la circonférence de la terre et les astres que nous nommons *étoiles fixes*. Cette notion pourrait même résulter des relations de la terre avec les autres planètes qui sont mues elles-mêmes d'un mouvement particulier.

Les comparaisons dont nous venons de parler, ont donné lieu à l'expression de *mouvement relatif*, c'est-à-dire dans lequel on voit changer les relations du corps en mouvement avec ceux qui l'environnent. On a réservé l'expression de *mouvement absolu*, pour le cas où on aurait la certitude qu'un corps se meut dans l'espace indépendamment de toute comparaison avec d'autres corps. Nous n'avons aucune certitude de l'existence d'un semblable mouvement ; en effet, les corps qui se meuvent à la surface du globe terrestre changent de position par rapport à tous ceux qui les entourent, tous à-la-fois exécutent un mouvement de rotation journalier autour de l'axe de ce globe. En outre, le globe lui-même est entraîné dans un mouvement annuel autour du soleil. Jusqu'ici

tous ces mouvemens sont relatifs par rapport aux étoiles fixes ; mais peut-être qu'aussi notre univers visible tout entier se meut dans l'espace d'un mouvement qui nous est inconnu, faute d'objets immobiles de comparaison. On peut donc dire qu'il n'existe pas pour nous de mouvement absolu.

On voit par ce que nous venons de dire qu'un corps peut se mouvoir au milieu d'un grand nombre d'objets se mouvant tous ensemble, et avec lui, d'un *mouvement commun*, différent du *mouvement propre* dont ce corps est animé. Ainsi, qu'un grand bateau suive le fil d'une rivière ; qu'une boule soit lancée par un homme d'un bout de ce bateau à l'autre, il y aura *mouvement commun* pour le bateau, l'homme et la boule ; il y aura *mouvement propre* pour la boule dans le bateau ; il y aura *mouvement relatif* du bateau par rapport au rivage ; il y aura *mouvement relatif* de la boule par rapport aux différentes parties du bateau.

Une circonstance bien importante à remarquer, c'est que les lois qui régissent le mouvement propre d'un corps, sont absolument les mêmes, quel que soit le mouvement commun dans lequel ce corps pourra d'ailleurs se trouver entraîné avec les autres corps qui l'entourent. Ainsi, qu'une boule soit jetée par un homme placé sur la terre, contre un obstacle ou contre un but, ou que cette action ait lieu dans le bateau en mouvement, la boule lancée avec la même force parcourra le même espace, frappera l'obstacle avec

la même force, atteindra le but avec la même précision : cette circonstance est d'autant plus heureuse, qu'elle nous dispense, dans l'étude des mouvemens propres que nous examinons, de tenir compte des mouvemens communs qui entraînent la terre autour de son axe et dans son orbite. Comme une proposition aussi importante exige une preuve absolue, nous ferons remarquer que le mouvement commun de rotation autour de l'axe de la terre, qui appartient aux objets situés sous l'équateur, est d'environ 9000 lieues par 24 heures; que le mouvement commun des corps situés plus près des pôles va toujours en diminuant, en telle sorte qu'il est un point, par exemple, où ce mouvement n'est plus que de 4500 lieues en 24 heures. Cependant, dans quelque point de la surface de la terre que l'on répète des expériences avec la même machine destinée à produire des mouvemens propres, les résultats seront exactement les mêmes ; ce qui démontre que le mouvement commun n'exerce sur eux aucune influence.

On conçoit que tout ce que nous venons de dire du mouvement est exactement applicable au repos; que le *repos absolu* n'existe probablement pas dans la nature, puisque ses plus grandes masses paraissent agitées de mouvemens communs, et que nous supposons en repos les corps qui ne changent point de relation avec ceux qui les entourent, et auxquels nous les comparons ; mais on conçoit aussi que cette comparaison pouvant être faite par

rapport à une étendue occupée par un très-grand nombre de corps, ou par rapport à une étendue ou à un système de corps très-limité, il existe pour nous un grand nombre de repos relatifs pour des corps que nous savons fort bien du reste être en mouvement. Ainsi un arbre, qui ne change pas de position par rapport à la masse du globe terrestre, est dans un repos relatif par rapport à la terre; nous savons cependant qu'il est en mouvement par rapport au soleil. Le mât d'un vaisseau est en repos par rapport au vaisseau, et en mouvement par rapport à la surface de la mer.

Les différentes sortes de mouvemens et de repos, et la manière de les apprécier, donnent lieu fréquemment à porter de faux jugemens sur la nature ou même sur l'existence de ces mouvemens. Un homme enfermé dans un bateau couvert est dans un repos relatif aux différentes parties de ce bateau; il acquiert l'idée de ce repos personnel en comparant sa situation avec celle des objets qui l'entourent. Si dans cet état il regarde le rivage par une petite ouverture, il supposera ce rivage en mouvement; car les changemens de relation sont évidens, et il est pénétré de l'idée de son repos individuel. Si, au contraire, il est placé sur le pont de ce bateau, et qu'il puisse découvrir à la fois le bateau, la rivière et les champs environnans, l'illusion cessera; il aura la conscience du mouvement qui l'entraîne avec le bateau qui le porte.

Par une erreur opposée, si un homme est placé sur un quai dont la base est baignée par une rivière dont le cours soit paisible, et si cet homme fixe particulièrement ses regards à la surface de l'eau, il jugera cette masse d'eau en repos, à cause de sa surface unie et qui ne change pas d'apparence; mais les petits corps qui flottent à sa surface, se déplaçant continuellement par rapport à lui, il supposera bientôt que ce mouvement lui est propre, et croira se sentir transporté dans le sens opposé au courant de la rivière. L'erreur cessera tout-à-coup, s'il jette à la fois les yeux sur la rivière et sur son rivage.

29. Jusqu'ici nous n'avons considéré le mouvement que d'une manière comparative; en l'examinant en lui-même, on trouve qu'il présente un certain nombre de modifications, qui lui ont fait donner des noms et attribuer en quelque sorte des qualités. Et, d'abord, un mouvement peut être tel, qu'il fasse parcourir à un corps un grand espace dans un temps très-court, ou un petit espace dans un temps très-long : c'est ce que l'on nomme communément mouvement *rapide* et mouvement *lent.* Cette circonstance, très-variable dans les différens mouvemens, se nomme *vitesse*, et par conséquent la vitesse n'est autre chose que le rapport de l'espace parcouru au temps pendant lequel il l'a été. Si, par exemple, un corps a parcouru un espace d'un mètre en une seconde, et qu'un autre corps ait parcouru deux mètres en une seconde, on dira

que le dernier avait une vîtesse double de celle du premier.

Le mouvement n'étant autre chose que le déplacement d'un corps dans l'espace, il est évident que ce déplacement peut avoir lieu dans toutes les *directions* et de toutes les manières. S'il se fait en suivant le plus court chemin d'un point à un autre, on dit que le mouvement est *rectiligne;* mais il peut suivre toute sorte de courbes : on le nomme alors *curviligne.* Il peut enchaîner le corps dans un cercle régulier; on nomme alors le mouvement *circulaire.* Le mouvement reçoit, du reste, les noms des différentes lignes géométriques qu'il peut suivre dans différens cas; de là les noms de mouvemens *parabolique, tangentiel, normal,* etc.

Lorsque le mouvement qui anime un corps est de telle nature, que, pendant toute sa durée, des espaces égaux soient parcourus dans des temps égaux, on le nomme mouvement *uniforme.*

Lorsque le mouvement qui anime un corps est de telle nature, que, pendant sa durée, les espaces parcourus vont en augmentant ou en diminuant, dans des temps égaux, on dit que le mouvement est *accéléré* ou *retardé.*

Enfin, lorsque l'accélération ou le retard se trouvent d'une égale quantité à chaque espace parcouru dans des temps égaux et successifs, on dit que le mouvement est *uniformément* accéléré ou retardé.

DES FORCES OU PUISSANCES.

30. La seule idée générale que l'on puisse prendre de ce que l'on entend par *force* ou *puissance*, s'exprime en disant que la force est la cause du mouvement. Les premières idées de l'existence de semblables causes nous viennent de nous-mêmes et de l'exercice de nos propres facultés. Ainsi, qu'un homme enlève un poids posé sur la terre, qu'il lance au loin un corps qu'il aura saisi, qu'il brise en la ployant une barre de fer ou de bois, il est évident qu'il aura déployé une faculté qui lui est naturelle, et qui est propre à déterminer des mouvemens dans les autres corps. C'est cette faculté qu'on nomme la *force* de l'homme; et nous avons donné, par extension, le même nom à toutes les causes que nous supposons capables de déterminer également des mouvemens dans les corps; ou plutôt, ayant observé et mesuré ces mouvemens, nous avons supposé l'existence de certaines causes capables de les produire, et que nous avons nommées *forces*. Il suit donc nécessairement de cette définition, que nous n'avons d'idée de la force que par les effets que nous supposons produits par elle, c'est-à-dire par le mouvement lui-même.

Pour bien concevoir cette idée de la force, on peut prendre pour exemple celle que l'on nomme pesanteur. Si un corps est éloigné de la terre et

qu'on l'abandonne à lui-même, il s'en rapproche avec plus ou moins de vîtesse et parcourt l'espace qui l'en sépare : or, comme la matière est inerte par elle-même, il faut supposer que ce corps est sollicité ou entraîné par une force ou puissance. Nous ignorons absolument la nature et l'origine de cette force; nous la nommons *attraction*, parce qu'elle tend à rapprocher les corps.

La force que nous venons de prendre pour exemple, paraît solliciter généralement tous les corps de la nature.

Tous aussi semblent obéir à une force opposée, ou de répulsion, que l'on attribue au calorique. On observe encore dans les corps bruts quelques mouvemens accidentels, que l'on attribue à l'électricité ou au magnétisme. Enfin, on connaît des puissances nombreuses et variées, qui naissent dans les êtres organisés et se prononcent par le jeu de leurs organes. Nous étudierons bientôt chacune de ces forces en particulier.

On a distingué les forces en force *morte* et force *vive*. On nommait force morte celle qui perd en apparence son effet en agissant sur un obstacle invincible; on nommait force vive celle qui produit un mouvement réel. Cette distinction n'est plus admissible; car nous verrons que toute force a son effet.

On a aussi donné le nom de force *d'inertie* à la résistance que tous les corps apportent à un changement du repos au mouvement, ou du mouve-

ment au repos; mais il est évident que cette force n'existe pas; et nous verrons que tous les phénomènes qui la simulent s'expliquent par la considération des masses.

Une autre idée qui se présente naturellement à côté de celle de force, est celle de la résistance. Et, en effet, aussitôt que nous essayons d'appliquer notre force propre au mouvement d'un corps quelconque, nous éprouvons plus ou moins de difficulté à déplacer ce corps, et cette difficulté se nomme *résistance*. Cependant, si l'on examine les différens cas où elle se présente, on voit qu'ils se réduisent à deux, savoir, l'existence d'une force opposée, et l'influence de la masse. Par exemple, si l'on essaie de soulever un corps, on éprouve une résistance qui dépend de la force de pesanteur du corps; et si l'on essaie de faire rouler une boule sur un plan horizontal, auquel cas la pesanteur est nulle, on croit éprouver une résistance qui dépend de ce que notre force propre, partagée entre la masse de la main et celle de la boule, ne peut mouvoir ces deux masses réunies aussi vîte que la main seule; en sorte que l'on peut dire que toute résistance se réduit à l'existence d'une force opposée. En mécanique, on est dans l'usage de nommer résistance la force qu'il s'agit de vaincre. Ainsi, dans l'exemple du poids qu'il s'agit de soulever, la force de la pesanteur est celle qui joue le rôle de résistance, et qui en porte le nom.

Quelle que soit la force que l'on examine, il y a

trois choses à considérer : 1°. son intensité ; 2° sa direction ; 3°. le temps pendant lequel elle agit.

31. L'intensité d'une force est exprimée par la quantité de mouvement qu'elle peut produire, et devient l'objet d'une mesure de ce mouvement. Cette mesure rentre dans la règle générale que nous avons établie (3) ; c'est-à-dire qu'elle se réduit à une comparaison que l'on rapporte à une unité de force. Une force peut être plus grande ou plus petite qu'une autre ; mais on est dans l'usage de comparer les forces à des unités conventionnelles. Ainsi un corps qui pèse autant qu'un décimètre cube d'eau, et que l'on nomme un kilogramme, est attiré par la terre avec une force qui est constante, et que l'on peut prendre pour terme de comparaison. On dira donc une force de 1, de 2, de 100, de 1,000 kilogrammes. On dit aussi la force d'un homme, la force d'un cheval, etc.

L'appréciation de la quantité de mouvement qu'une force peut produire, n'est pas une chose aussi facile qu'on pourrait le croire au premier moment. En effet, si une force pouvait être appliquée à une seule particule de matière, la mesure de la quantité de mouvement serait exprimée par l'espace que la force ferait parcourir à la molécule en un temps donné ; mais les forces sont toujours appliquées à des *corps*, c'est-à-dire à des réunions de particules matérielles. Or, puisque toutes les particules du corps se meuvent en même temps et avec la même vitesse, il faut qu'elles se par-

tagent l'effet de la force qui les meut; en sorte que chacune prendra d'autant moins de vîtesse, qu'elles seront plus nombreuses, et réciproquement. Si donc on suppose une force capable de mouvoir une seule particule de matière, avec une vîtesse comme 100, et que cette force se trouve appliquée à 10 particules de matière, la vîtesse de chacune ne sera plus que 1/10 de 100 ou 10. D'où l'on peut conclure que pour avoir la véritable quantité de mouvement imprimé par une force à un corps, il faut multiplier la vîtesse qu'il prend, par le nombre de molécules qui le composent. Mais ce nombre de molécules est inconnu et représenté par le poids ou la masse du corps; d'où il suit *que la quantité de mouvement est égale à la masse multipliée par la vitesse.*

Les prétendues forces mortes s'expliquent par ces considérations. En effet, si une force donnée, comme celle de l'homme, est employée à essayer de mouvoir un rocher qui tient à une montagne, il est évident qu'ici la masse est infinie, et que par conséquent la vîtesse sera infiniment petite, c'est-à-dire que la masse restera en repos. Cependant il est évident que la force aura eu son effet suivant la loi générale; car si cette masse eût été en équilibre, comme un vaisseau flottant sur la mer, cette petite force, en prolongeant son action, aurait fini par produire un mouvement sensible.

La prétendue force de l'inertie s'explique par les mêmes considérations. En effet, si la main repré-

sentant une masse comme 1, est mue par les muscles avec une force qui puisse lui imprimer une vîtesse comme 100, mais que cette main s'applique à mouvoir une masse comme 99, la nouvelle masse à mouvoir deviendra 100, la vîtesse sera réduite à 1, et ce retardement produit dans le mouvement de la main représentera exactement une résistance de la part du corps, ou une force d'inertie.

On emploie fréquemment une expression en forme d'axiome, qui dit que *la réaction est égale à l'action.* Cette proposition découle naturellement de ce que nous avons dit, que toute résistance naissait d'une force opposée; car il ne peut arriver que trois cas dans l'action d'une force agissante contre une force résistante: 1°. elles seront en équilibre et nécessairement égales; 2°. la force agissante l'emportera, et il n'y aura d'employé de cette force que ce qui est nécessaire pour détruire la résistance, le reste mettra le corps en mouvement; 3°. la résistance l'emportera, mais il n'y aura d'employé de cette force que ce qui est nécessaire pour détruire la force agissante, et le surplus maintiendra le corps en repos, ou mouvera le corps dans un sens opposé.

32. La direction est une chose fort importante à considérer dans les forces: l'attraction et la répulsion qui se retrouvent dans tous les corps de la nature paraissent agir au milieu d'un corps dans toutes les directions à la fois; mais entre

deux corps différens, et dans tous les cas où une seule force est en action, la direction est suivant une certaine ligne droite qui peut représenter elle-même la direction de la force; et lorsqu'un corps est sollicité par plusieurs forces, il se meut encore en une seule ligne droite, comme s'il était sollicité par une seule force, que l'on nomme alors *résultante*. Ainsi la direction des forces est toujours nécessairement rectiligne; s'il arrive qu'un corps sollicité par plusieurs forces décrive une courbe, on doit regarder celle-ci comme composée d'un grand nombre de petites lignes droites. Si l'on considère la direction entre deux ou plusieurs forces, on voit que ces directions peuvent se trouver sur la même ligne droite, mais opposées; sur la même ligne, mais dans le même sens: on voit encore que ces directions, sans être sur la même ligne, peuvent être parallèles, opposées, ou dans le même sens; enfin les directions des forces peuvent former des angles entre elles. Tous ces cas donnent lieu à des effets résultans, suivant des lois que nous exposerons bientôt.

Comme il arrive souvent que l'on représente ces forces par les lignes de leurs directions, il arrive aussi que l'on représente l'intensité de ces forces par les longueurs de ces lignes. En effet, les longueurs peuvent servir aussi bien que des nombres à exprimer des quantités relatives : ainsi une ligne de 10 centimètres représentera en intensité et en direction une force donnée, et une

autre ligne de 20 centimètres représentera très-bien une force double en intensité. Nous ferons usage de ces moyens pour faire concevoir les lois de l'équilibre et du mouvement.

33. Le temps pendant lequel une force agit sur un corps pour lui imprimer un mouvement, influe considérablement sur le mouvement produit ; le cas le plus simple est celui où une force agit sur un corps pendant un seul instant, comme le choc d'un marteau, ou le choc d'une bille sur un plan. C'est dans cette supposition simple, que nous avons dit (29), que le mouvement était uniforme et rectiligne. Mais dans une foule de circonstances, la force semble attachée aux particules du corps : telle est, par exemple, celle de la pesanteur, qui les sollicite sans cesse, en repos comme en mouvement ; en sorte que lorsqu'elle a déjà produit un mouvement, elle ne cesse d'y ajouter à chaque instant ; ce qui produit le mouvement uniformément accéléré de la chute des corps. On suppose dans ce cas que la force unique et continue est remplacée par une suite d'impulsions, qui ont lieu à chaque instant. Il peut encore arriver que la force accélératrice agisse pendant un certain temps, puis abandonne ensuite le corps à lui-même ; c'est ce qui arrive dans un fusil, où la balle reçoit de l'impulsion tant qu'elle est dans le canon ; il en est de même pour le poids lancé par une sarbacane, et pour la pierre lancée par une fronde. Dans ces

différens cas, le mouvement s'accélère tant que l'impulsion dure, et devient ensuite uniforme.

Enfin, il peut arriver qu'une force accélératrice, c'est-à-dire agissant incessamment sur un corps, soit elle-même variable en intensité, soit en plus, soit en moins. Le mouvement sera encore accéléré; mais cette accélération ne sera plus uniforme. On comprend les cas très-nombreux de cette dernière espèce, sous le nom général de *mouvemens variés.*

LOIS DE LA COMPOSITION DES FORCES.

34. Lorsque deux ou plusieurs forces sont appliquées simultanément ou successivement à un corps, il peut en résulter deux effets différens : le corps peut rester immobile, malgré l'action de toutes ces forces; ou le corps peut être mis en mouvement avec une vitesse et dans une direction variables. Le premier cas constitue ce que l'on nomme *équilibre*; la partie de la mécanique qui s'en occupe, se nomme *statique*. Le second cas, dans lequel le corps est mis en mouvement, forme, avec toutes ses circonstances, la partie de la mécanique qu'on nomme *dynamique*.

Les deux effets généraux dont nous venons de parler, sont soumis à un certain nombre de lois simples et faciles à concevoir, qui permettent de prévoir et de calculer les effets, dans tous les cas possibles. Nous allons exposer ces lois; mais pour

plus de facilité et de clarté dans leur exposition, nous supposerons d'abord les différentes forces appliquées à des points matériels sans étendue; nous réservant de faire ensuite l'application de ces principes à la statique et à la dynamique des solides, des liquides et des fluides aériformes.

LOIS DE L'ÉQUILIBRE.

35. Si l'on suppose que plusieurs forces soient appliquées simultanément à un même point matériel, quelle que soit la variété d'intensité et de direction de toutes ces forces, ce point pourra rester immobile, ou se mouvoir; mais s'il se meut, ce sera nécessairement dans une seule direction; car il répugne de supposer qu'un corps puisse se mouvoir à la fois dans deux directions différentes. S'il est vrai que le point matériel se meuve, en effet, ou tende à se mouvoir dans une seule direction, il est toujours permis de supposer que ce corps, au lieu d'être mu par un grand nombre de forces, n'obéit qu'à une seule dans la direction indiquée. Cette force unique, qui peut ainsi remplacer toutes les autres, se nomme *résultante*; et les forces qu'elle remplace, se nomment *composantes*. Il était nécessaire d'exposer d'abord le sens de ces expressions, dont nous ferons usage à tout moment.

36. *Si un point matériel est sollicité par deux forces égales, et en sens directement opposé, ce point*

restera immobile et sera dans l'état que l'on nomme équilibre. Mais il est essentiel de distinguer cet état de ce que l'on appelle *repos*. En effet, dans l'équilibre il suffirait de détruire ou de diminuer une des puissances qui agissent sur le point matériel, pour qu'il se mît en mouvement, tandis qu'il faudrait appliquer une force nouvelle au point matériel en repos pour le déplacer. Le repos consiste dans l'absence de tout mouvement et de toute tendance au mouvement, et l'équilibre dans l'absence de tout mouvement, mais avec des tendances égales et opposées. D'où il résulte qu'il n'y a pas dans notre univers de repos absolu; ce que nous prenons pour tel est tout au moins un équilibre entre deux forces opposées, savoir, la pesanteur qui tend à rapprocher les corps du centre de la terre, et la résistance que le globe lui-même oppose à ce rapprochement.

37. *Lorsque deux forces inégales agissent en sens contraire sur un point matériel, la résultante est dans la direction de la plus grande; son intensité est égale à leur différence.*

38. *Lorsque deux forces agissent sur un point matériel dans le même sens, la résultante est dans leur direction, et son intensité est égale à leur somme.* Dans les deux cas, l'équilibre ne peut avoir lieu qu'en opposant une force égale et en sens contraire.

En général, lorsqu'un nombre de forces parallèles agissent les unes dans un sens, et les autres en sens contraire, sur un point matériel, la résul-

tante est égale à la différence des forces opposées, et sa direction est celle de la plus forte somme. L'équilibre est produit par une force égale et opposée à la résultante.

39. Lorsque deux forces sont appliquées à un même point matériel, et qu'elles ne sont ni parallèles ni opposées, c'est-à-dire qu'elles forment un angle entre elles, elles tendent en partie à se détruire, et en partie à mouvoir le point matériel.

La résultante est égale en grandeur et en direction à la diagonale d'un parallélogramme construit sur les deux droites, représentant, par leurs directions et leurs longueurs, les deux forces composantes. En effet, soient C (*fig.* 1), le point matériel à mouvoir, CD la première force, et CE la seconde; le point C devra prendre un mouvement, puisque les deux forces ne sont pas directement opposées; et ce mouvement ne pouvant être à-la-fois dans la direction CD et dans la direction CE, il devra en suivre une différente et intermédiaire. En suivant cette direction, son écartement dans le sens CD devra être proportionnel à l'intensité de la force que cette ligne représente, et son écartement dans la direction CE devra être aussi proportionnel à l'intensité de cette seconde force. Or, si l'on mène par le point D une ligne DB parallèle à CE, le point où arrivera le corps doit se trouver sur cette ligne; et si d'une autre part on mène par le point E une ligne EB, parallèle à CD, le point où arrivera le corps devra aussi se trouver

sur cette ligne EB ; cette opération géométrique forme précisément le parallélogramme dont nous avons parlé, et la diagonale CB représente en longueur et en direction la résultante des deux forces primitives, sa direction représentant le chemin que suivra le corps, et sa longueur l'intensité de la résultante, relativement à celles des deux forces primitives.

On peut dire encore, qu'en supposant d'abord le point matériel abandonné à l'unique influence de la force CD, il arriverait au point D ; et qu'en supposant ensuite que cette force, venant à cesser d'agir, le point matériel fût alors livré à la seule force CE, exactement représentée par la ligne DB, qui lui est égale et parallèle, le point C se trouverait transporté au point B. Or, le résultat doit être exactement le même lorsque les deux forces agissent en même temps, puisque l'action de l'une ne saurait nuire à celle de l'autre, et que la matière est inerte par elle-même ; en sorte que, dans l'un et l'autre cas, les deux puissances ont été également satisfaites, soit dans leur intensité, soit dans leur direction.

La proposition fondamentale que nous venons d'essayer de faire comprendre, se démontre en mathématiques, aussi bien qu'elle résulte d'expériences directes que l'on peut répéter sur un billard de marbre avec une bille d'ivoire, que l'on frappe en même temps de deux marteaux convenablement dirigés et animés de vitesses connues.

L'équilibre sera obtenu, dans le cas que nous venons de citer, en appliquant au point C une force CF égale à CB, et opposée en direction.

40. On conçoit qu'il est facile d'obtenir, par la même méthode, la résultante commune d'un nombre indéfini de forces appliquées à un même point matériel. Soient, par exemple (*fig.* 2), les forces CA, CB, CD, CE, appliquées au point C : si l'on considère d'abord les deux forces CD et CB, on obtiendra leur résultante CF ; on pourra dès-lors supposer que les deux forces primitives sont remplacées par leur résultante. Combinant alors les deux forces CF et CA, on obtiendra leur résultante CG, qui, combinée elle-même avec la dernière force CE, donnera la résultante unique CH, à laquelle il suffira d'opposer une force égale CK, pour que le point C soit en équilibre. Cette proposition est générale, et s'applique également à un nombre quelconque de forces dirigées dans tous les sens autour du point matériel, et qui ne se trouveraient pas dans un même plan. En effet, dans la réduction du nombre des forces, on les considère toujours deux à deux, et deux lignes droites qui se rencontrent en un point sont nécessairement dans le même plan.

Un nombre quelconque de forces peut être appliqué à deux ou plusieurs points matériels liés entre eux d'une manière invariable; la connaissance des lois suivant lesquelles les forces se combinent alors est d'autant plus importante, qu'elle

s'applique directement à la mécanique des corps solides.

Si l'on suppose deux points matériels écartés l'un de l'autre, mais invariablement unis, quel que soit le nombre des forces appliquées à ces deux points, on pourra toujours les réduire, par les règles précédentes, à une seule résultante pour chaque point matériel. Mais alors il pourra arriver trois cas différens : 1°. ces deux résultantes seront parallèles ; 2°. elles ne seront pas parallèles, mais elles seront dans le même plan ; 3°. elles ne seront pas parallèles et ne seront pas dans le même plan.

41. *Forces parallèles.—Lorsque deux forces parallèles agissent dans le même sens sur deux points matériels liés entre eux, leur résultante est égale à la somme de ces deux forces, et passe par un tel point de la ligne qui les sépare, que les deux parties de cette ligne se trouvent réciproquement proportionnelles à l'intensité des deux composantes.*

Soient (*fig.* 3) A et B les deux points matériels unis par la ligne AB, soient AD et BE les deux forces parallèles : la résultante sera CF, la longueur de cette ligne sera égale à la somme des longueurs AD et BE ; le point C sera placé de manière que l'on aura AC : BE : : CB : AD, c'est-à-dire que la partie AC sera d'autant plus grande que l'intensité de la force BE sera plus considérable ; et que la ligne CB sera d'autant plus petite que l'intensité de la force AD sera moindre ; en sorte que si AD était moitié de BE, CB serait moitié de AC. On

voit que pour faire équilibre aux deux forces AD et BE, il faudrait appliquer au point C une force égale et opposée à CF.

Nous avons supposé les deux forces perpendiculaires à la direction de la ligne AB; mais les résultats seraient exactement les mêmes, si les forces étaient obliques, mais toujours parallèles, comme dans la *fig.* 4.

42. *Si deux forces parallèles sont appliquées à deux points matériels unis invariablement, que les forces soient inégales et leur direction opposée, la résultante sera égale à leur différence, sera dans le sens de la plus forte, et passera par un point qui se trouvera situé au-delà de la ligne qui joint les deux points matériels du côté de la plus grande force; et les distances des points d'action seront réciproquement proportionnelles aux forces.*

Soient (*fig.* 5) A et B deux points matériels, AD et BE deux forces parallèles, inégales et opposées : la résultante sera CF; sa longueur égalera la différence des deux lignes AD et BE, et les distances AC et BC seront réciproquement proportionnelles aux forces CF et BE.

On obtiendra l'équilibre, en appliquant au point C une force égale et opposée à CF.

Il faut remarquer que, dans le cas de deux points matériels séparés, lorsque les deux forces sont égales et opposées, il ne peut pas y avoir de résultante unique, et qu'on ne pourrait obtenir l'équilibre qu'en opposant à ces deux puissances

deux autres forces égales. Ces deux forces parallèles et opposées portent le nom de *couple.* Elles présentent une sorte de résultat, que l'on obtient quelquefois en cherchant à réduire un grand nombre de forces à leur résultante. On reconnaît par là même qu'il n'y a pas de résultante unique possible, et l'on observe que l'on peut changer à volonté la direction de ce couple, soit dans le même plan, soit même dans des plans différens, sans modifier l'action des deux forces.

Les règles que nous venons de donner suffisent pour trouver, quand elle existe, la résultante d'un nombre indéfini de forces parallèles, agissant sur un nombre indéfini de points matériels invariablement liés; car on peut toujours considérer deux à deux, soit les points matériels, soit les puissances qui leur sont appliquées.

43. *Centre des forces parallèles.* — Si un nombre quelconque de forces parallèles sont appliquées à des points matériels, leur résultante passera par un point qui ne changera jamais, quelle que soit la direction nouvelle que l'on donne à l'ensemble de toutes les forces, en conservant leur parallélisme, et c'est ce point que l'on nomme *centre des forces parallèles.*

44. *Forces non parallèles, et dans le même plan.* — *Lorsque deux forces non parallèles sont appliquées à deux points matériels invariablement unis, on trouve leur résultante en prolongeant les directions de ces forces jusqu'à ce qu'elles se rencontrent, et en cons-*

truisant le parallélogramme des forces, comme si elles étaient effectivement appliquées au point de rencontre, et qu'il fût invariablement uni aux deux points matériels.

Soient (*fig.* 6) les deux points A et B, et les deux forces convergentes AD et BE ; si l'on prolonge leurs directions, elles se rencontreront au point O, et l'on obtiendra la diagonale OH, qui coupera la ligne AB dans le point C, auquel devra être appliquée la résultante, en lui donnant la longueûr CQ, égale à OH.

Il est remarquable que le point C est situé de manière que si de ce point on mène les perpendiculaires C*a* et C*b* aux directions des forces, ces deux lignes se trouveront réciproquement proportionnelles aux forces ; ensorte que si l'on multiplie chaque force par sa perpendiculaire, on aura des produits égaux, c'est-à-dire BE $\times$ C*b* $=$ AD $\times$ C*a*. Ce produit de la force par la perpendiculaire, à l'extrémité de laquelle elle est censée agir, se nomme le *moment* des forces.

On peut juger par la seule inspection de la figure, que plus la force BE sera oblique, relativement à la ligne AB, plus la ligne C *b* sera petite, plus le moment de la force ou son énergie diminuera. En effet, si la force était dans la direction de AB, la ligne C*b* serait réduite à zéro : or, la force multipliée par zéro serait réduite à zéro, ou son action deviendrait nulle. Au con-

traire, si la force BE est perpendiculaire à AB, C*b* est égale à CB, et c'est le maximum de sa grandeur; c'est aussi le cas où le moment de la force est le plus grand possible.

On pourra réduire ainsi à une seule résultante un nombre indéterminé de forces non parallèles, en les composant deux à deux.

Forces non parallèles et dans divers plans. Il peut arriver que plusieurs points matériels liés entre eux soient sollicités par un nombre indéterminé de forces dans toutes sortes de directions : le problème de la composition de toutes ces forces, ou la détermination de leur résultante, devient plus compliqué ; mais on le simplifie en considérant que toutes ces forces peuvent se changer en d'autres qui seraient contenues dans deux plans perpendiculaires l'un à l'autre. En effet, si l'on prolonge dans le sens convenable chacune de ces forces, elles iront nécessairement tomber sur l'un de ces deux plans perpendiculaires l'un à l'autre ; on pourra dès-lors les considérer comme appliquées aux points mêmes où ces directions touchent les plans, en supposant ces points liés aux premiers points matériels ; mais une force qui touche obliquement un plan, peut toujours être remplacée par deux forces composantes, l'une parallèle et l'autre perpendiculaire au plan, ces deux forces nouvelles formant les côtés d'un parallélogramme dont la première force est la diagonale ; et comme

cette opération peut être faite pour chaque force, elles se trouveront enfin toutes comprises dans deux plans perpendiculaires l'un à l'autre.

Les règles que nous avons données précédemment apprennent à composer les deux nouveaux systèmes de forces dans chacun des plans qui les renferment ; mais il peut arriver 1°. que chaque plan donne une résultante unique ; 2°. que l'un des systèmes donne une résultante unique, et l'autre un couple de forces ; 3°. que chaque système donne un couple de forces.

Dans le premier cas, si ces deux résultantes sont dans le même plan, elles se réduisent à une seule ; si elles sont dans des plans différens, elles n'auront point de résultante commune, puisqu'on ne peut pas, en les prolongeant, les faire rencontrer. Dans le second cas, la résultante unique et le couple de forces se réduiront à deux forces qui ne seront pas dans le même plan et qui ne sauraient se réduire à une seule.

Dans le troisième cas, les deux couples se réduiront à un seul, et n'auront conséquemment point de résultante unique.

Les règles que nous venons de donner, en fournissant les résultantes d'un nombre quelconque de forces dans toutes les directions possibles, donnent en même-temps le moyen de produire l'équilibre, en opposant à cette résultante une force égale.

Ces mêmes règles, en les appliquant aux corps

solides, liquides ou gazeux, donnent la *statique* de ces différens corps, comme nous le verrons par la suite.

LOIS DU MOUVEMENT.

46. Un point matériel sollicité par une force ou par la résultante d'un nombre quelconque de forces, se meut dans l'espace en ligne droite. Nous avons vu qu'il y avait à considérer dans ce fait général, l'espace parcouru, le temps, la vitesse constante, variable, ou uniformément variable, et la quantité de mouvement. Nous devons maintenant exposer les lois qui régissent les différentes sortes de mouvement.

47. *Mouvement uniforme.* — On sait que nous nommons ainsi le mouvement dans lequel un point matériel parcourt des espaces égaux dans des temps égaux; ce cas arrive lorsque le mouvement est produit par une force qui cesse d'agir. Nous disons que ce cas arrive, seulement par abstraction, car dans la nature il y a toujours quelque obstacle qui diminue peu-à-peu le mouvement et le réduit bientôt à rien; en sorte que le mouvement perpétuel, qui est dans l'essence des choses, n'est qu'une chimère en pratique.

48. *Dans le mouvement uniforme la vitesse est proportionnelle à la force.* Nous n'avons aucun moyen de prouver directement cette proposition, puisque nous ne connaissons les forces que par

les effets qu'elles produisent ou par le mouvement lui-même; mais il n'y a rien contre cette proposition, et nous pouvons l'adopter, du moins comme une supposition permise.

49. *Dans le mouvement uniforme la vitesse est égale à l'espace divisé par le temps.* En effet, le temps se mesure, comme toute autre chose, par comparaison avec une unité fixe et conventionnelle; *la seconde*, par exemple, est l'unité de temps dont on fait usage : ainsi *le temps*, c'est le nombre ou la fraction de seconde qui s'est écoulé.

La vitesse, c'est l'espace parcouru pendant une unité de temps ou une seconde; ainsi, supposant qu'un corps se soit mu pendant trente secondes, et qu'il ait parcouru soixante mètres, on aura sa vitesse en divisant soixante mètres, qui est l'espace, par trente secondes, qui est le temps, et on aura pour résultat un quotient 2, qui indique que la vitesse est de deux mètres par seconde.

Quoique les quantités *espace* et *temps* soient de natures diverses, on peut cependant les multiplier, les diviser, etc., parce que, dans la vérité, ces mots n'expriment qu'un nombre d'unités conventionnelles.

En désignant par des lettres les objets dont nous venons de parler, en appelant, par exemple, v la vitesse, t le temps, e l'espace, on a l'équation simple $e = vt$, qui veut dire que l'espace est égal à la vitesse multipliée par le temps, et l'on en tire

$v = \frac{e}{t}$, qui exprime que la vitesse est égale à l'espace divisé par le temps.

50. *Mouvement uniformément accéléré.* — Nous avons défini ce mouvement en disant que dans chaque unité de temps, l'espace parcouru s'accroissait d'une égale quantité ; nous avons dit que ce mouvement était produit par une force constante et agissant sur le point matériel d'une manière permanente. Et nous avons vu que cette action permanente pouvait être représentée par une série d'impulsions égales, se répétant à chaque instant et à des intervalles infiniment petits. En admettant que chaque nouvelle impulsion produise dans le corps une égale vitesse, et en nommant g cette vitesse, on voit que dans le premier temps, infiniment petit, la vitesse sera $1g$; dans le second temps $2g$, et successivement $3g$, $4g$, etc. Le nombre total des instans pendant lesquels la force agit, peut être représenté par t, et alors le dernier terme de la série que nous supposons sera tg, qui représentera la vitesse au bout du temps pendant lequel la force aura agi. Mais si l'on considère que les instans dont nous avons parlé sont infiniment petits, on concevra qu'il y en aura un nombre infini dans le temps déterminé que nous avons nommé t.

Dans cette série de vitesses qui croissent régulièrement, l'espace parcouru doit se trouver le

même que si la vitesse eût été constante et égale à la moyenne de toutes les vitesses différentes ; cette moyenne est $\frac{1}{2}gt$. Or nous savons que l'espace parcouru est égal à la vitesse multipliée par le temps : si nous multiplions donc $\frac{1}{2}gt$ par t, nous aurons $\frac{1}{2}gt^2$, qui exprimera l'espace parcouru pendant le temps t. Comme dans cette expression $\frac{1}{2}gt^2$, g peut être considérée comme constante, on en conclut que pour deux corps qui se meuvent par un mouvement uniformément accéléré, les espaces parcourus sont comme les carrés des temps.

Ainsi *les espaces parcourus avec des vitesses uniformément accélérées sont égaux à la moitié de la vitesse multipliée par le carré du temps*, ce qui donne $e = \frac{1}{2}gt^2$.

51. Lorsqu'une force accélératrice a exercé son action pendant un certain temps sur un point matériel, et que cette action cesse, ce point matériel doit rester animé de la vitesse qu'il avait dans le dernier instant, et qui est exprimée par gt ; c'est ce qu'on nomme *vitesse finale*. Mais si l'on suppose que le corps continue à se mouvoir avec cette vitesse qui sera dès-lors uniforme, l'espace parcouru dans un temps donné sera exprimé par la vitesse multipliée par le temps ou par vt. Or nous savons que la valeur de v est alors gt

nous aurons donc $gt \times t$ ou gt^2. Or gt^2 étant le double de $\frac{1}{2}\, gt^2$, qui exprime l'espace parcouru pendant la durée du mouvement accéléré, il en résulte la loi suivante :

La vitesse finale acquise par un corps qui a été mu d'un mouvement uniformément accéléré pendant un temps donné, est capable de faire parcourir à ce corps d'un mouvement uniforme un espace double pendant un autre temps égal.

52. On observe dans les mouvemens uniformément accélérés cette circonstance particulière, que les espaces parcourus pendant chacun des temps successifs du mouvement, pendant chaque seconde, par exemple, sont entre eux comme les nombres impairs, 1, 3, 5, 7, etc. En effet, l'espace parcouru pendant la première seconde étant supposé 1, l'espace parcouru pendant les deux premières secondes sera le carré de 2 ou 4; mais si l'on en retranche l'espace parcouru pendant la première seconde, qui est 1, il restera 3 pour l'espace parcouru pendant le second temps. En trois secondes l'espace parcouru sera 9, carré de 3; et si l'on en retranche l'espace parcouru pendant les deux premières secondes, c'est-à-dire 4, il restera 5 : et ainsi de suite pour tous les autres temps successifs, parce que la différence des carrés des nombres naturels donne la série des nombres impairs.

Lorsqu'un corps, au moment où une force ac-

célératrice s'empare de lui, était déjà doué d'une vitesse uniforme dans le même sens, il faut ajouter dans chaque temps du mouvement l'espace que le corps aurait parcouru en vertu du mouvement uniforme dont il était précédemment animé.

53. *Mouvement uniformément retardé.* — Si l'on suppose qu'un corps soit doué, dans un sens déterminé, d'une vitesse uniforme, et qu'il vienne à recevoir l'impulsion d'une force accélératrice en sens contraire, sa vitesse primitive sera successivement retardée par l'effet de la force opposée, et ce retard sera uniforme, comme l'accélération dans le cas précédent. Si l'on nomme a la vitesse uniforme du corps, et qu'on cherche sa vitesse au bout d'un temps quelconque t, on trouvera qu'elle est égale à la vitesse primitive, moins la vitesse finale du mouvement accéléré ; c'est-à-dire qu'on aura $v = a - gt$. Il en sera de même pour les espaces; celui que le corps aurait dû parcourir avec son mouvement uniforme aurait été at; celui que la force accélératrice aurait dû lui faire parcourir en sens contraire, aurait été $\frac{1}{2}gt^2$: on aura donc $e = at - \frac{1}{2}gt^2$.

On conçoit que dans cette supposition il arrivera un moment où le mouvement uniforme du corps sera complètement détruit; et si la force accélératrice cessait alors d'agir, le corps resterait en repos. Mais si elle continue son action, le corps prendra un mouvement uniformément accéléré,

en retournant dans la même ligne qu'il avait parcourue; et quand il sera arrivé au point de départ, il se trouvera animé d'une vitesse finale, égale à la vitesse constante qu'il avait en partant, mais en sens contraire.

54. *Mouvemens variés.*—Si la force accélératrice, au lieu de rester constante, comme nous l'avons supposé, pour produire le mouvement uniformément accéléré, vient à subir elle-même des augmentations ou des diminutions, le mouvement éprouvera aussi des modifications qui tiendront à la loi suivant laquelle la force accélératrice variera, et que l'on détermine par des méthodes qu'il n'est point de notre objet d'exposer ici.

55. *Mouvement curviligne.* — Nous avons vu qu'une seule force, agissant pendant un seul moment sur un point matériel, produisait un mouvement uniforme et *rectiligne ;* qu'une seule force agissant continuellement dans la même direction sur un point matériel, produisait un mouvement accéléré, mais toujours rectiligne; enfin, que plusieurs forces agissant toutes pendant un seul moment, ou toutes pendant un temps égal, sur un même point matériel, produisaient un mouvement composé dans le sens de la résultante et en ligne droite.

Pour donner lieu au mouvement *curviligne*, ou pour faire parcourir à un point matériel une ligne courbe quelconque, il faut que la force unique qui meut ce point matériel change de direction,

ou bien que l'une des forces qui meuvent ce point matériel change d'intensité; ou enfin que l'une des forces produise un mouvement uniforme, et l'autre un mouvement varié.

Si l'on conçoit une force quelconque qui agisse sur un point matériel pendant un instant, et que l'on suppose que dans l'instant suivant cette force change de direction, les deux espaces parcourus seront exprimés par deux lignes qui feront un angle entre elles. Ainsi la force FC (*fig.* 7), fera parcourir dans le premier moment l'espace CC′ et la même force dans la direction FC′, fera parcourir dans le second temps l'espace C′ C″, et dans le troisième temps l'espace C″ C‴.

Ainsi les lignes exprimant les espaces parcourus représenteront un polygone dont la forme dépendra de l'intensité de la force et de la loi de son changement de direction; et si l'on suppose que le changement de direction ait lieu à chaque instant infiniment petit, les côtés du polygone deviendront eux-mêmes infiniment petits, et l'espace parcouru sera une courbe.

Si l'une des deux forces agissant sur le même point matériel diminuait ou augmentait à chaque instant, leur résultante commune changerait aussi à chaque instant de direction; ce qui rentre, comme on voit, dans le cas précédent.

De deux forces agissant sur un point matériel, l'une peut agir pendant un seul moment et produire un mouvement uniforme, tandis que l'autre agit

continuellement et produit un mouvement accéléré. Il résultera de ces deux mouvemens combinés une courbe, dont la nature dépendra de leur rapport.

Supposons (*fig.* 8) un point matériel A, qui reçoive à la fois l'impulsion de deux forces, savoir la force CA, agissant sur lui pendant un seul moment comme l'effet de la poudre sur une bombe, et capable de lui faire parcourir, dans des temps égaux et dans la direction AF, des espaces égaux A*a*, *aa'*, *a' a"*, etc. ; et en second lieu, la force DA agissant sur lui d'une manière continue, comme le ferait la pesanteur, et capable de lui faire parcourir dans des temps égaux, et dans la direction AE, des espaces A*b*, *bb'*, *b'b"*, *b''b'''*, etc., suivant la loi des forces accélératrices, c'est-à-dire de manière que les espaces soient comme la série des nombres impairs.

Si nous considérons l'action des forces pendant le premier moment, nous trouverons que, pour déterminer le point où le corps devra se trouver, il faudra construire le parallélogramme des forces A *a m b*, et que le point *m* sera le lieu où le point matériel devra se trouver après le premier moment. On déterminera de la même manière les points *m'*, *m"*, *m'''*, etc. ; et si on réunit ces points par une ligne qui se trouvera composée de petites lignes droites formant des angles, cette ligne sera une *parabole*.

C'est à peu près la courbe produite par un projectile lancé obliquement de la surface du globe et sollicité en même temps par la pesanteur.

On conçoit que nous n'avons choisi ici qu'un seul exemple remarquable entre toutes les variétés de mouvemens curvilignes qui peuvent être produits par des circonstances analogues.

Il est un cas particulier, trop important pour ne pas nous en occuper avec quelques détails ; c'est celui où la force accélératrice constante est toujours dirigée vers un même point, malgré le déplacement continuel du point matériel.

56. Le mouvement circulaire est produit par une disposition de ce genre.

Supposons, en effet (*fig.* 9), un point matériel A, sollicité par une force DA et par une force BA. Dans le premier moment, l'action simultanée de ces deux forces conduira le point matériel au point m ; mais, arrivé dans ce point, la direction de la force BA sera changée et sera devenue $B'm$, les deux forces tendant également au point C ; le point mobile sera donc porté, dans l'instant suivant, au point m'. En continuant ainsi à construire les petits parallélogrammes des forces pour chacun des instans du mouvement, on aura une suite de lignes droites, qui formeront un polygone régulier autour du centre C, et la force BC se sera trouvée située successivement dans tous les rayons de ce polygone. Si les temps d'action sont infiniment petits, ce polygone sera un cercle.

On représente d'une manière simple le cas du mouvement circulaire, en attachant un corps à un point fixe par un fil, et lui imprimant une

impulsion perpendiculairement à la direction de ce fil. Il est évident que, dans ce cas, la résistance du fil représente une force constamment dirigée vers le point C, et qui prend alors le nom de force *centripète*. En sorte que l'on pourrait remplacer la résistance du fil par une force constante, normale ou perpendiculaire à chaque point de la circonférence du cercle.

La tension même qu'éprouve le fil dans ce mouvement de rotation, porte le nom de *force centrifuge*.

Les mêmes choses arriveraient exactement, si le point matériel se mouvait dans l'intérieur d'une courbe solide circulaire. La résistance de la courbe représenterait la tension du fil, ou de la force normale nécessaire pour retenir le point matériel dans la courbe.

57. Le mouvement des corps sollicités par une force d'impulsion et par une force centripète, est soumis à une série de lois qui ont été déterminées par l'observation et par le calcul, et que nous nous contenterons d'indiquer ici.

1°. *Les aires ou les surfaces décrites par le rayon vecteur (ou par la ligne qui joint le mobile au point fixe), sont proportionnelles aux temps employés à les décrire.*

2°. *Lorsque la force centripète est en raison simple de la distance du mobile au point fixe, la courbe décrite est une ellipse dont le centre se trouve au point fixe.*

3°. *Lorsque la force centripète est en raison in-*

verse du carré de la distance du mobile au centre, la courbe décrite est une ellipse, une parabole ou une hyperbole, dont le point fixe occupe un des foyers.

4°. *Si plusieurs mobiles décrivent des ellipses suivant la dernière loi, les carrés des temps de leurs révolutions sont comme les cubes des grands axes des ellipses.*

Ces lois s'appliquent aux mouvemens des corps célestes, fournissent toutes les solutions des problèmes qui y sont relatifs, et en reçoivent par conséquent la confirmation la plus absolue.

Lorsqu'un corps se meut dans une courbe quelconque, si l'on suppose que la force accélératrice ou centripète vienne à cesser tout-à-coup son action, le corps devra continuer à se mouvoir suivant la direction de la petite ligne droite qu'il parcourait dans cet instant, et par conséquent sa course sera désormais rectiligne, et suivant la tangente de la courbe qu'il parcourait précédemment. C'est ce que l'on remarque dans le mouvement circulaire d'un corps retenu par un fil à un point fixe; si le fil se rompt ou que le corps s'en détache, il suit la tangente au cercle dans le point même où le fil s'est rompu. C'est ainsi que les corps solides sont lancés par la fronde.

La vîtesse tangentielle du corps est égale à celle qu'il avait dans la courbe même, au moment où il la quitte. Cette vîtesse est égale à l'espace qu'il parcourait, dans un temps infiniment petit, divisé par ce temps. On trouve encore la vîtesse d'un

corps parcourant une courbe, en supposant toutes les puissances anéanties et divisant l'espace parcouru suivant la tangente, par le temps, comme pour tout autre mouvement uniforme.

La tendance d'un point matériel à s'échapper par la tangente quand il se meut dans une courbe, produit ce que nous avons appelé la force centrifuge ; il est évident qu'elle doit croître dans une certaine proportion avec la vitesse du corps dans la courbe, et qu'elle doit être aussi modifiée par les différentes longueurs du rayon, puisque la tangente d'un cercle, par exemple, s'éloigne d'autant plus vite de sa courbe que le rayon est plus petit. Aussi démontre-t-on par le calcul que la force centrifuge est égale à $\frac{v^2}{r}$ c'est-à-dire au carré de la vitesse divisé par le rayon. Il est clair que la force centripète doit toujours être exactement égale et opposée à la force centrifuge, pour que le mobile soit maintenu dans la courbe que nous avons supposée. On trouve cependant un autre mode d'appréciation de cette force centripète, car Huyghens et Newton ont démontré qu'elle *pouvait faire parcourir au mobile, dans un temps donné, un espace égal au carré de l'arc décrit dans le même temps, divisé par le diamètre du cercle.*

Dans les courbes autres que le cercle, c'est encore par la tangente que le corps tend à s'échapper; la force centrifuge est toujours perpendiculaire au point de la courbe où se trouve le corps.

Elle est toujours proportionnelle au carré de la vitesse; mais elle est modifiée par le plus ou moins de courbure des différens points de la courbe, en sorte qu'elle dépend du rayon du cercle osculateur, c'est-à-dire de celui qui est le plus près de se confondre avec la courbe dans le point dont il est question. On obtient donc l'expression de cette force en divisant le carré de la vitesse par le rayon du cercle osculateur.

Dans tout ce que nous avons dit sur le mouvement curviligne, nous n'avons supposé que deux forces agissantes, et nous les avons supposées constantes. On conçoit qu'elles peuvent être en plus grand nombre, et qu'il faudrait alors chercher leur résultante. Dans le mouvement circulaire, nous avons supposé la force d'impulsion perpendiculaire au rayon; si elle était oblique, on la décomposerait en deux autres, dont l'une, suivant la direction même du rayon, diminuerait ou augmenterait la force centripète, tandis que l'autre serait perpendiculaire au rayon, ce qui rentre dans le cas examiné.

Si les forces étaient variables, il pourrait en résulter une multitude de mouvemens divers et variés.

Nous devons faire remarquer ici que dans une multitude de circonstances, un très-grand nombre de points matériels décrivent simultanément des cercles autour d'une ligne; c'est ce qui arrive dans la rotation d'un corps sur son axe. Mais on

conçoit que les règles précédemment données s'appliquent très-aisément à la solution de ce problème, en apparence très-compliqué, puisque chaque point matériel a sa vitesse propre qui dépend de sa distance à l'axe, ou du rayon du cercle qu'il est forcé de décrire dans le même temps que tous les autres.

CHAPITRE III.

DES FORCES OU PUISSANCES NATURELLES.

58. Nous avons considéré en général l'étendue, la matière et ses différens états qu'on nomme corps; nous avons reconnu que la matière inerte par elle-même ne pouvait produire les phénomènes qui se répètent sans cesse autour de nous, qu'à cause de certaines *forces* ou *puissances* qui agissent sur elle et la mettent en mouvement. Nous avons étudié, en général, la force ou la puissance; nous avons recherché sa nature, son mode d'action et les lois auxquelles cette action était constamment soumise; nous avons par conséquent passé en revue les différens cas d'équilibre ou de mouvement. Nous devons maintenant étudier successivement la nature et le mode d'action de chacune des différentes puissances qui agissent sur la

matière et la mettent en mouvement ou la tiennent en équilibre.

L'esprit de l'homme, naturellement investigateur, a dû rechercher de tout temps la cause des grands phénomènes qui l'entourent. Le petit nombre des notions acquises, la fertilité de l'imagination qui devance toujours les résultats de l'expérience, ont dû produire beaucoup de vaines suppositions avant que l'on pût arriver à quelque découverte positive sur les causes des grands effets de la nature. Aussi les tourbillons de Descartes entraînant les astres dans leur rotation, sans qu'on s'inquiétât de ce qui mettait en mouvement les tourbillons eux-mêmes, ont précédé de long-temps la découverte de l'attraction.

Dans l'état actuel des connaissances naturelles et mathématiques, on peut se rendre compte de tous les phénomènes naturels, en admettant l'existence d'un très-petit nombre de forces soumises à des lois tellement fixes et déterminées, qu'il est presque toujours possible de prévoir ou même de calculer leurs effets.

On peut diviser les forces dont on admet actuellement l'existence, en deux ordres. 1°. Celles qui paraissent agir incessamment sur la matière dans tous les cas et dans tous les états où elle peut se trouver, savoir : l'*attraction* et *la force répulsive* du calorique. L'intensité des puissances de ce premier ordre paraît constante en elle-même, et variable seulement par les influences des masses

6*

et des distances. 2°. Celles qui ne se développent que dans des circonstances particulières, qui n'agissent que pendant la durée de ces circonstances, et dont l'intensité ne paraît avoir rien de fixe ni même de proportionnel aux masses. Telles sont la cause des attractions et répulsions électriques, et surtout les forces en vertu desquelles les êtres organisés mettent en mouvement les particules qui composent leur propre corps, ou même les masses matérielles qui les environnent.

Nons allons étudier successivement chacune de ces puissances en particulier.

DE L'ATTRACTION.

59. Toutes les particules de la matière composant les corps qui sont à notre disposition, tendent à se rapprocher les unes des autres; et par exemple, si une partie quelconque de la masse du globe est écartée de sa surface, puis abandonnée à elle-même, elle s'en rapproche aussitôt jusqu'à ce qu'elle vienne de nouveau reposer sur cette surface. Deux corps polis que l'on applique l'un sur l'autre, adhèrent bientôt fortement; deux gouttes de mercure que l'on rapproche, se réunissent pour n'en former qu'une; un acide et un alcali que l'on mêle, se combinent de façon qu'il devient ensuite très-difficile de les séparer l'un de l'autre. Tous ces phénomènes et un grand nombre d'autres, dont la nature est moins évi-

dente, ont été long-temps tout-à-fait inexpliqués ou très-mal compris. Isaac Newton conçut le premier l'idée la plus générale et la plus importante qui depuis l'origine des sciences naturelles ait éclairé leur marche. Il imagina que toutes les particules matérielles étaient animées d'une sorte de force ou puissance, en vertu de laquelle ces molécules tendaient à se rapprocher, et se rapprochaient en effet, quand elles ne rencontraient point d'obstacles insurmontables. Il fit plus, il reconnut et il démontra que cette force était exactement la même pour toutes les particules matérielles qui peuvent exister dans l'univers; qu'en conséquence les corps qui pouvaient être entrainés par cette force, l'étaient d'autant plus puissamment qu'ils se trouvaient composés d'un plus grand nombre de particules matérielles, c'est-à-dire que *cette force était proportionnelle aux masses;* enfin que les particules ainsi attirées les unes vers les autres, l'étaient d'autant plus qu'elles étaient plus rapprochées, et d'autant moins qu'elles étaient plus éloignées, et cela exactement *en raison inverse du carré des distances*, de sorte que l'attraction devenait quatre fois plus forte à une distance moitié moindre, et quatre fois plus faible à une distance double.

Avant de démontrer l'existence de ces lois, il est important de rappeler ici la pensée de Newton toute entière. Il n'a point prétendu, par l'usage du mot attraction, déterminer qu'un corps eût en

effet en lui la faculté d'en attirer un autre, et d'agir par conséquent sur lui à distance et sans contact; ce qui paraîtrait impossible à comprendre. Il n'a pas prétendu non plus, quoiqu'il ait fait usage du mot impulsion, que les corps fussent effectivement chassés les uns vers les autres par une puissance extérieure : il n'a voulu exprimer, par les mots dont il s'est servi, qu'un fait général, savoir, que les corps s'approchaient ou tendaient à s'approcher les uns des autres, comme s'il y avait entre eux une force d'attraction, ou comme s'ils étaient poussés par des impulsions. Il a établi la généralité du fait; il en a étudié les circonstances, qu'il est parvenu à réduire à une loi très-simple, et il s'est servi des mots *attraction*, *gravité*, *gravitation*, pour faciliter et éclaircir son langage. Il sera probablement à jamais impossible de déterminer la cause réelle qui produit le rapprochement des corps; et toutes les explications imaginées par Gassendi, Descartes, Bulfinger, Huyghens, Perrault, Bernoulli, n'ont fourni aucune idée nette sur ce sujet, et méritent d'autant moins d'être rappelées et discutées, que la véritable cause de l'attraction nous est aussi indifférente à connaître, qu'il nous importe d'en bien apprécier les lois.

On donne à l'attraction des noms particuliers, suivant les circonstances dans lesquelles elle s'exerce et le genre d'effets qu'elle produit. On la nomme *gravitation*, ou *attraction planétaire*, lorsqu'elle s'exerce entre les globes qui composent notre sys-

tème planétaire. On la nomme *pesanteur*, ou *attraction terrestre*, quand elle sollicite les corps sublunaires ou situés à la surface de notre globe. On la nomme *adhésion*, quand elle retient en contact deux corps différens et d'un petit volume. On la nomme *cohésion*, ou *attraction d'agrégation*, quand elle maintient les particules d'un même corps dans leurs situations respectives. Enfin, on la nomme *affinité*, ou *attraction de composition*, lorsqu'elle réunit des particules matérielles de nature différente, et qu'elle en change les propriétés. Nous allons étudier successivement l'attraction dans ces différentes circonstances.

DE L'ATTRACTION PLANÉTAIRE.

60. Si l'on considère que la lune se meut uniformément dans un espace vide; que ce mouvement ne peut être dû qu'à une impulsion qu'elle a reçue dans l'origine des temps; si l'on se rappelle que tout mouvement semblable est toujours rectiligne de sa nature, et qu'au contraire la lune décrit une courbe elliptique autour de la terre, on sera forcé d'admettre qu'il y a une puissance centripète qui retient la lune dans cet orbite et qui l'empêche de s'échapper par la tangente de cette courbe; ce que l'on exprime en disant que la terre *attire* la lune. Ces propositions suffisent pour mettre hors de doute l'*existence* de l'attraction entre tous les corps célestes, puisque les mêmes raisonnemens

s'appliquent aux planètes qui circulent autour du soleil, aussi bien qu'aux satellites qui peuvent circuler autour d'elles.

Le même exemple peut servir à démontrer que cette force d'attraction s'exerce en raison inverse du carré des distances. En effet, la distance de la lune à la terre étant d'environ 60 rayons terrestres, si l'attraction suit effectivement cette loi, elle doit agir sur la lune avec une puissance 3600 fois moindre qu'à la surface du globe. C'est, en effet, ce que l'expérience et le calcul confirment; car, d'une part, un corps placé à la surface du globe tombe sur la terre de 15 pieds en une seconde, et par conséquent il tomberait de 3600 fois 15 pieds en une minute, puisque les espaces parcourus sont comme les carrés des temps, qu'il y a 60 secondes dans une minute, et que 3600 est le carré de 60. Et Newton a démontré que la lune, si elle était en repos, tomberait vers la terre avec une vitesse d'environ 15 pieds par minute. On peut déduire cette proposition de considérations assez simples. En effet, soit AC (*fig.* 10) le rayon de l'orbite de la lune, soit AD un arc de cet orbite que la lune décrive en une minute; le petit sinus-verse A*a* sera nécessairement l'espace que la lune parcourrait en une minute, si la force d'impulsion qui la porte de A en D venait à s'évanouir. Or, on peut aisément calculer la longueur de ce sinus-verse. En effet, suivant les lois que nous avons établies, le chemin parcouru en vertu de la force

centripète, dans un temps donné, est égal au carré du chemin parcouru suivant la courbe dans le même temps, divisé par le diamètre de l'orbite. Or, l'arc décrit par la lune en une minute est de 60,059^{met},270^{mm}, dont le carré est 3,607,115,912^{met}, 933^{mm}, qui étant divisés par le diamètre de l'orbite, qui est 751,876,771^{met},828^{mm}, donnent pour quotient 4^{met},797^{mm}, c'est-à-dire 14 pieds, 9 pouces, 3 lignes. Mais, comme nous avons établi que les forces sont proportionnelles aux vîtesses qu'elles impriment, il est évident que si la force d'attraction est 3600 à la surface de la terre, c'est-à-dire à l'extrémité d'un de ses rayons, elle devient 1 à la distance où se trouve la lune, qui est de 60 rayons de la terre, et que par conséquent elle s'exerce en raison inverse du carré de la distance.

Si, maintenant, l'on essaye d'appliquer aux autres corps célestes la supposition d'une attraction réciproque du même ordre, on trouve que tous les phénomènes s'accordent exactement avec cette supposition. En effet, le système planétaire présente un certain nombre de dispositions générales et absolues, que l'on connaît sous le nom de *Lois de Képler*, et qui sont confirmées par toutes les observations astronomiques. Ces dispositions générales sont les suivantes : 1°. *Les planètes se meuvent dans des courbes planes, et les rayons vecteurs de ces courbes décrivent des aires ou des surfaces qui sont proportionnelles aux temps.* 2°. *Les orbes des planètes sont des ellipses dont le foyer est occupé par le*

soleil. 3°. *Les carrés des temps des révolutions des planètes sont entre eux comme les cubes des diamètres.*

Ces trois propositions sont directement déduites des observations astronomiques. Et, si l'on se rappelle ce que nous avons dit (57), on verra que ce sont précisément ces circonstances qui arrivent dans le cas d'un corps sollicité à la fois par une force d'impulsion et par une force centripète, la force centripète agissant en raison inverse du carré des distances.

D'après cette exacte coïncidence, on conclut de la première loi de Képler, que la force qui agit sur les planètes est toujours dirigée vers le centre du soleil. On conclut de la seconde loi, que la force qui agit sur les planètes s'exerce en raison inverse du carré des distances. Enfin, on voit par la troisième, que l'influence du soleil est uniquement modifiée par la distance, et nullement par la différence des planètes; en sorte que si elles étaient toutes à la même distance du soleil, elles parcourraient leurs orbes dans le même temps. D'où l'on tire cette importante conclusion, que *la puissance de l'attraction est rigoureusement la même dans l'univers pour toutes les molécules de la matière.*

On démontre, comme nous l'avons dit, par le calcul, que les courbes décrites autour d'un centre d'attraction peuvent être non-seulement des ellipses, mais encore toute autre section conique, c'est-à-dire des paraboles, des hyperboles, des cercles, et même des lignes droites. Il est probable

que la plupart des comètes décrivent des ellipses très-allongées, ou des paraboles. On n'en a pas encore observé qui décrivent des hyperboles; mais comme ces directions sont de nature à ne les placer que pendant une petite portion de leur course dans des points du ciel assez voisins de nous pour qu'on puisse les apercevoir, il est possible qu'il existe de semblables corps dont la période de voisinage se soit écoulée avant le temps où l'on a commencé à faire des observations, ou qui soient maintenant en chemin pour s'approcher de la terre de manière à devenir visibles à l'avenir.

Il n'est pas douteux que les attractions réciproques de tous les corps planétaires ne s'étendent indéfiniment autour d'eux; ce qui, dans leurs mouvemens variés, doit produire quelques perturbations, que l'on observe en effet dans la marche régulière de ces astres.

Nous verrons, par la suite, des preuves positives que l'attraction s'exerce en raison directe des masses, c'est-à-dire du nombre de molécules exerçant une attraction. Tout concourt à confirmer ce fait dans le système planétaire. En effet, le soleil, autour duquel circulent toutes les planètes, présente une masse immense, relativement à chacune d'elles; car son diamètre est 112 fois celui de la terre; et s'il était à la place qu'occupe cette planète, sa propre circonférence s'étendrait presque deux fois plus loin que la distance de la lune à la terre. Ainsi, la masse de cet astre, en supposant

la densité la même, serait 1,404,9 8 fois la masse de la terre. D'un autre côté, les planètes ont le même genre de supériorité par rapport à leurs satellites.

Malgré la grande prépondérance de masse que présente le soleil, il est évident que s'il attire les planètes, il en est attiré, en sorte qu'il doit éprouver de légers déplacemens résultant des diverses situations des planètes autour de lui.

DE LA PESANTEUR OU DE L'ATTRACTION TERRESTRE.

61. On donne le nom de pesanteur à la force qui détermine tous les corps éloignés de la surface du globe terrestre à s'en rapprocher. Il faut distinguer avec soin ce que l'on nomme *pesanteur* de ce que l'on nomme *poids*. La pesanteur est la force même qui sollicite les particules matérielles; elle s'estime par la vîtesse qu'elle peut leur imprimer. Le poids, c'est la somme totale des forces de pesanteur sollicitant les particules matérielles qui composent un corps, et agissant contre un obstacle ou une résistance.

La force qu'on nomme *pesanteur* ne saurait être attribuée qu'au principe général d'attraction qui sollicite toutes les particules matérielles. Il y a seulement ici des circonstances particulières qu'il est important de se représenter exactement.

1°. L'un des deux corps exerçant l'attraction est la terre; son diamètre est de 2864,8 lieues com-

munes, par conséquent sa masse est immense.

2°. Les corps sur lesquels nous sommes à même d'observer les effets de la pesanteur, ont une masse extrêmement petite relativement à celle de la terre.

3°. Ces corps sont placés à une très-petite distance de la terre.

Il résulte de ces circonstances que malgré la réciprocité d'attraction, les petits corps semblent se mouvoir seuls ; les mouvemens réels que la terre peut éprouver étant absolument insensibles, il résulte encore que la force d'attraction exercée par la terre est extrêmement considérable.

Nous avons à considérer, pour étudier la pesanteur avec méthode, 1°. sa direction, 2°. son intensité, 3°. sa composition avec d'autres puissances.

62. *Direction de la Pesanteur.* — Tous les corps que l'on éloigne accidentellement de la surface du globe s'en rapprochent par une ligne droite normale à la surface de la terre, c'est-à-dire perpendiculaire à la surface sphérique de cette terre, en faisant abstraction des inégalités qu'elle peut présenter. On a donné à cette ligne le nom de *ligne verticale* ; et comme la terre présente à-peu-près la figure d'une sphère, il en résulte que toutes les lignes par lesquelles les corps tombent sur les différens points de la surface du globe tendent vers son centre ou se trouvent dans le prolongement d'un des rayons de la sphère. Cependant, comme

le rayon de la terre est de 1,432 lieues, il en résulte que deux lignes verticales voisines l'une de l'autre sont sensiblement parallèles. On obtient aisément, et d'une manière permanente, la direction verticale dont nous parlons, en suspendant un corps pesant à l'extrémité d'un fil, car le fil se trouve tendu précisément dans la direction où la pesanteur sollicite le corps. Cet instrument porte le nom de *fil-aplomb*.

Pour se rendre compte de cette tendance de tous les corps vers le point central de la masse du globe, il est nécessaire de se rappeler le principe suivant : *Si toutes les particules d'une sphère exercent une attraction égale sur un même point matériel situé au-dehors ou au-dedans de cette sphère, la résultante commune de toutes ces puissances passera par le centre de la sphère.* On conçoit aisément la vérité de cette proposition, en se représentant qu'en vertu de la symétrie du solide sphérique, quelque point que l'on veuille prendre pour exemple, d'un côté de la sphère, il se trouvera toujours nécessairement, du côté opposé, un autre point situé rigoureusement de la même manière; qu'en conséquence la résultante des forces exercées par ces deux points passera par le centre, et qu'on peut en dire autant de tous les points matériels qui composent la sphère. Il résulte de cette considération, que quoique la pesanteur soit effectivement le résultat d'une quantité innombrable de forces agissant à-la-fois sur un même corps, on peut

toujours la considérer comme une force unique dont la direction passerait par le centre de la terre.

Tout ce que nous venons de dire serait rigoureusement vrai, si la terre était exactement sphérique; mais il en est autrement. La terre a réellement la forme d'un sphéroïde aplati vers les pôles, en sorte que le diamètre de l'équateur excède la longueur de son axe d'environ 13 lieues et demie. Huyghens et Newton soupçonnèrent cette disposition, en considérant que la matière du globe terrestre tournant avec rapidité sur son axe, devait éprouver une impulsion centrifuge très-considérable à l'équateur, et tout-à-fait nulle aux deux pôles. Le fait a été démontré par des mesures exactes des arcs du méridien, dont les degrés se sont trouvés plus courts vers l'équateur, plus longs vers les pôles. Il résulte de cette disposition que le centre de la terre vers lequel tendent les verticales, n'est pas un point unique, mais qu'il varie de quelque chose suivant le lieu de la terre où se fait l'expérience. Cette différence est du reste si petite qu'elle peut être négligée dans la plupart des cas.

Les grandes inégalités que présente la surface du globe peuvent aussi déranger d'une manière notable la direction de la verticale ou de la pesanteur; elle ne doit même se trouver parfaitement rigoureuse qu'en pleine mer, et l'on a observé qu'au voisinage d'une grande montagne, le fil-aplomb était sensiblement dévié du côté de la

montagne, par l'effet de cette grande masse matérielle qui sort de la symétrie sphérique générale du globe.

63. *Intensité de la Pesanteur.* — Nous avons établi que la pesanteur était une force agissant également sur toutes les particules de la matière; il en résulte que la véritable mesure de l'intensité de cette force, dans un corps quelconque, est précisément la vîtesse avec laquelle ce corps se meut quand il est sollicité par la pesanteur; car, quel que soit le nombre de molécules réunies, chacune d'elles a sa force propre qui n'augmente ou ne diminue en rien la force qui agit sur les autres, ensorte qu'elles peuvent se mouvoir ensemble ou séparément avec la même vîtesse.

Nous avons vu aussi que la force d'attraction agissait constamment sur les particules de la matière, soit qu'elles fussent en repos ou en mouvement; il en résulte que la pesanteur agit encore sur des particules qui ont déjà contracté une vîtesse quelconque, en vertu de cette même pesanteur. Cette force est donc du nombre de celles que nous avons appelées accélératrices, et pour juger de son intensité, il faut considérer la vîtesse qu'elle produit dans des temps déterminés, cette vîtesse devenant plus grande à mesure que ces temps s'ajoutent les uns aux autres.

Si l'on prend à Paris un corps solide présentant une grande masse sous un petit volume, comme une balle de plomb, par exemple, et qu'on laisse

tomber cette balle pendant une seconde de temps, elle parcourra 4871 millimèt., ou environ 15 pieds, dans cette première seconde de chute; on peut donc dire que la force de la pesanteur est capable de faire parcourir à un corps 15 pieds dans une seconde.

Il résulterait des principes que nous avons établis, que tous les corps devraient tomber avec cette même vitesse, quelle que fut leur nature; cependant tout le monde sait qu'il en est autrement, et que les corps qu'on appelle *légers*, comme une plume, un duvet, tombent beaucoup plus lentement que d'autres corps qu'on appelle *lourds* par opposition. Il existe même des corps qui ne tombent pas du tout, et qui au contraire semblent doués d'une force qui les éloigne du centre de la terre : tel est le gaz hydrogène dont on remplit les aérostats. Ces anomalies apparentes dépendent de l'existence de l'air, au milieu duquel se font ordinairement nos expériences. En effet, nous verrons que les fluides élastiques opposent au mouvement des corps une résistance qui croît comme le carré des vitesses, et qui devient d'autant plus sensible que le volume du corps qui tombe est plus considérable relativement à sa masse; tandis que d'une autre part cet air qui nous environne ayant un poids déterminé, les corps moins pesans que lui s'élèvent au milieu de sa masse, comme un morceau de liége qui s'échapperait du fond d'un vase plein d'eau. En faisant des expériences sur la chute

des corps d'une assez grande hauteur, Désaguillers a remarqué que deux boules du même diamètre, dont l'une pesait 19 fois plus que l'autre, tombaient d'une hauteur donnée, la plus légère en 19 secondes, la plus lourde en 6 secondes et demie, ce qui prouve déjà que la rapidité de la chute n'est pas dans la proportion de la différence des masses, car l'une des boules aurait dû tomber 19 fois plus vîte que l'autre. Il a trouvé, au contraire, que le retardement dans la chute était proportionnel au volume du corps comparé à sa masse. Il devenait déjà très-probable que ce retardement n'était dû qu'à la résistance de l'air; mais ce fait est complètement démontré par l'expérience suivante : Si l'on prend un tube de cristal de deux mètres de long et de deux pouces de diamètre environ, fermé par une de ses extrémités et garni d'un robinet par l'autre, et que l'on enferme dans ce tube une petite rondelle de plomb et une de papier, en renversant subitement le tube, on observera que les deux rondelles tomberont dans son interieur, la masse de plomb très-vîte, et le morceau de papier très-lentement, ensorte que l'une arrivera au bas du tube bien avant l'autre. Mais si l'on fait le vide dans le tube à l'aide de la machine pneumatique, et qu'on répète l'expérience, on verra que les deux corps tomberont alors exactement avec la même vîtesse, et frapperont ensemble l'extrémité inférieure du tube. Ainsi les corps tombant tous avec une égale vîtesse dans

le vide, les anomalies dont nous avons parlé ne tiennent qu'à la résistance de l'air.

On démontre la même chose au moyen d'une autre expérience plus simple, et peut-être plus ingénieuse. Si l'on prend un parallélipipède en plomb, et une feuille de papier capable de couvrir exactement une de ses faces, et qu'on laisse tomber séparément l'un et l'autre corps dans l'air, la masse de plomb arrivera à terre beaucoup plus vîte que la feuille de papier; mais si l'on place cette feuille de papier sur la face supérieure de la masse de plomb, les deux corps tomberont alors ensemble, parce que la masse de plomb marchant la première, empêchera la résistance de l'air d'agir sur la feuille de papier.

La pesanteur ne paraît avoir subi aucune altération depuis l'époque où on a pu faire des observations, et il est très-probable qu'elle est invariable.

64. La force de la pesanteur doit, suivant les lois que nous avons établies, varier d'intensité à mesure que l'on s'éloigne de la surface de la terre ou que l'on s'enfonce dans ses profondeurs. Cependant les expériences faites sur les plus grandes élévations ou dans les mines les plus profondes, n'ont présenté aucune différence sensible dans la vîtesse de la chute des corps, qui est la mesure de cette pesanteur. On concevra facilement cette égalité apparente, en considérant que l'attraction agit comme si elle était produite par une force unique placée au centre de la terre; que la dis-

tance de ce centre à la surface où nous faisons les expériences est de 1432 lieues ; que la plus grande élévation au-dessus de la surface du globe où nous puissions répéter des expériences n'excède guères une lieue, et par conséquent la 1432e partie de la distance au centre, ou $\frac{1}{1432}$ de la distance au centre ; en sorte que la différence de vîtesse doit être le carré de cette fraction, c'est-à-dire une quantité beaucoup trop petite pour être appréciée. Il est résulté de cette égalité apparente, que l'on a dû croire la pesanteur invariable, jusqu'à ce que Newton eût démontré la loi de sa diminution par les distances, à l'aide des observations lunaires.

Nous verrons, par la suite, que les oscillations d'un pendule sont déterminées par la pesanteur et obéissent à ses lois. Ce mode d'appréciation de l'intensité de la pesanteur est infiniment plus délicat que la chute directe des corps : aussi Bouguer et La Condamine ayant fait osciller un pendule, pendant la durée de la révolution d'une étoile fixe, au sommet et au pied des Cordillières, ont trouvé entre le nombre de ses oscillations une différence qui s'accorde avec la loi de Newton.

La force de la pesanteur varie dans les différens points de la surface du globe ; elle est plus grande au pôle, et plus faible vers l'équateur. Cette variation dépend de plusieurs causes.

La terre, faisant sa révolution sur son axe en vingt-quatre heures, il en résulte que chaque point

de sa surface est doué d'une force centrifuge plus ou moins grande, qui a son *maximum* à l'équateur, et qui est nulle au pôle. A l'équateur, par exemple, la vitesse de rotation est de 465 mètres par seconde ; cette vitesse produit une force centrifuge capable de faire parcourir au corps, pendant une seconde, $0^m,017$. Or, cette force agissant dans la direction du rayon, est directement opposée à la force de la pesanteur ; et comme la force de la pesanteur fait parcourir à un corps, dans le même lieu, $4^m,89$ en une seconde, il en résulte que, si la force centrifuge n'existait pas, la pesanteur ferait parcourir au corps, dans une seconde, $4^m,89 + 0^m,017$, ou $4^m,907$.

La force centrifuge va en diminuant de l'équateur au pôle, en raison de la diminution des rayons des cercles décrits autour de l'axe, et par conséquent celle de la pesanteur s'accroît d'autant, à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur.

Mais une autre raison vient encore concourir à diminuer l'effet de la force centrifuge relativement à la pesanteur ; car à l'équateur les deux forces sont directement opposées l'une à l'autre. Mais dans une latitude quelconque, la direction de la pesanteur est toujours suivant le rayon de la terre, tandis que la direction de la force centrifuge est perpendiculaire à l'axe de rotation ; et ces deux lignes formant un angle, une partie seulement de la force centrifuge de ce point est employée à combattre la pesanteur.

En tenant compte de toutes ces dispositions, on trouve encore que la force de la pesanteur s'accroît vers les pôles dans une proportion plus grande que ne le comporteraient la diminution de la force centrifuge et l'obliquité de sa direction par rapport à celle de la pesanteur; ce que l'on doit attribuer à la différence des diamètres de la terre, qui est telle, que vers les pôles les corps sont environ sept lieues plus près du centre de la terre qu'à l'équateur.

Toutes les expériences qui servent de base aux propositions que nous venons d'établir, ont été faites avec le pendule, qui présente, comme nous l'avons dit, un moyen très-délicat et très-exact de mesurer les différences d'intensité de la pesanteur.

En considérant les dispositions actuelles du globe, on trouve que si sa vitesse de rotation était dix-sept fois plus grande qu'elle n'est, les corps n'auraient aucune pesanteur à l'équateur, et que si elle devenait encore plus considérable, toutes les parties qui composent le globe pourraient se désunir et être projetées dans l'espace.

65. *Lois de la chute des corps.* — Nous avons établi (50) qu'une force agissant incessamment sur une particule matérielle, lui faisait parcourir des espaces qui étaient entre eux comme les carrés des temps, et que les vitesses acquises étaient capables de faire parcourir au point matériel, dans le même temps, des espaces doubles de ceux précédemment parcourus; ce que nous avons nommé mouvement uniformément accéléré.

La pesanteur, agissant incessamment sur les particules de la matière, il en résulte que la chute des corps doit être en effet un mouvement uniformément accéléré, soumis aux lois indiquées. Cet exemple nous servira en même temps à démontrer la *loi de la chute des corps*, et à confirmer, par des expériences directes, les lois abstraites que nous avons établies pour ce genre de mouvement.

Si l'on se place au sommet d'une tour, et que de là on laisse tomber des corps pesans pendant des temps que l'on puisse mesurer avec exactitude, aussi bien que les espaces parcourus par les corps, on trouve que dans la première seconde de chute un corps tombe d'à-peu-près $4^m,9$, ou 15 pieds; que pendant deux secondes il tombe de $19^m,6$; que pendant trois secondes le corps tombe à-peu-près de $44^m,1$, etc.; en sorte que l'on trouve que l'espace parcouru étant $4^m,9$ dans une seconde, est quatre fois cette longueur dans deux secondes; neuf fois cette longueur dans trois secondes, etc. *Les espaces parcourus sont donc comme les carrés des temps.* Si, maintenant, l'on veut savoir quels sont les espaces parcourus pendant chacun des temps successifs, il suffira de retrancher de l'espace parcouru en deux secondes l'espace parcouru dans la première, de l'espace parcouru en trois secondes l'espace parcouru dans les deux premières, etc., et l'on trouvera que les corps parcourent $4^m,9$ dans la première seconde, trois fois $4^m,9$ ou $14^m,7$ dans la deuxième seconde, cinq fois $4^m,9$ ou $24^m,5$ dans

la troisième seconde, etc. ; c'est-à-dire que les espaces parcourus dans les temps successifs sont comme la série des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, etc.

Les expériences que nous venons de citer, et qui ont été répétées un grand nombre de fois, sont toujours affectées d'une irrégularité plus ou moins considérable, dépendant de la résistance de l'air, qui s'accroît rapidement avec la vîtesse des corps ou la hauteur de laquelle on les laisse tomber. Ces expériences présentent, du reste, une assez grande difficulté d'exécution, et l'on ne saurait constater par cette méthode la proportion de la vîtesse acquise au bout d'un temps donné.

66. Une machine imaginée par Atwood, a fourni le moyen de ralentir considérablement la chute des corps, en conservant exactement la loi de cette chute, ou le mouvement uniformément accéléré. Cette machine consiste en une poulie très-légère et très-mobile dont les axes, pour diminuer le frottement, reposent sur d'autres poulies très-mobiles elles-mêmes. Cet appareil est placé au sommet d'une colonne dont la hauteur est divisée en intervalles égaux pouvant servir à mesurer l'étendue de la chute. Sur la poulie passe un fil de soie très-délié, aux extrémités duquel sont attachés deux poids qui se font équilibre. Le long de la hauteur de la colonne se trouve une planchette en cuivre, qui s'élève ou s'abaisse à volonté, pour recevoir le corps à sa chute, ainsi qu'un anneau disposé de la même manière, et

dans lequel les poids suspendus au fil peuvent passer librement.

La machine étant construite de cette manière, il est évident que les deux corps qui sont attachés aux extrémités du fil, ayant des poids égaux qui se contre-balancent réciproquement, sont exactement dans le même cas que s'ils n'étaient nullement sollicités par la pesanteur. En effet ils demeurent dans toutes les positions où on les place, et si on leur imprime un mouvement quelconque, ils se meuvent uniformément, l'un en montant et l'autre en descendant, parcourant ainsi des espaces égaux dans des temps égaux.

Il est encore évident que si ces deux corps composant une masse que nous appelons 900, étaient abandonnés à eux-mêmes, ils tomberaient vers la terre suivant les lois de la pesanteur, en parcourant 4^{m},9 dans la première seconde. Il en serait exactement de même d'une petite masse égale à 100, qui serait abandonnée à sa chute naturelle. Mais si l'on place cette petite masse sur l'un des deux poids en équilibre, on aura dès-lors une masse égale à 1000, partageant la force de la pesanteur d'une petite masse égale à 100, et par conséquent l'intensité de la pesanteur dans la masse commune sera réduite à $\frac{1}{10}$ c'est-à-dire qu'au lieu de faire parcourir au corps 4^{m},9 dans la première seconde, elle ne leur fera parcourir que le dixième de cet espace, ou 0^{m},49; et pourtant, comme elle ne

cesse pas d'être une force accélératrice, les rapports des espaces parcourus dans différens temps resteront les mêmes. On pourra donc obtenir ainsi à volonté toutes sortes de vîtesses en employant des masses accélératrices variées ; et même en donnant à ces masses une forme allongée qui excède le diamètre des poids, on pourra faire que ces masses accélératrices soient retenues au passage par l'anneau que les poids traversent, en sorte qu'il sera possible de mesurer les espaces parcourus pendant l'action de la force accélératrice, et après que cette action aura cessé.

Afin de compter avec exactitude les temps de la chute des corps, on fixe à la machine un pendule qui bat des secondes et des demi-secondes.

Pour exprimer d'une manière générale toutes les conditions de la machine d'Atwood, soient m la masse réunie de l'un des corps et de la masse accélératrice, m' la masse de l'autre ; soit g la force de la gravité, et soit v la vîtesse au bout d'un temps t ; on a $v=\frac{m-m'}{m+m'}gt$. Si l'une des masses m était librement abandonnée à elle-même, la vîtesse serait gt ; c'est le cas ordinaire de la pesanteur. Si la différence entre m et m' est telle que nous l'avons supposée tout-à-l'heure, $m-m'$ égalera 100, $m+m'$ égalera 1000 ; ainsi on aura $v=\frac{1}{10}gt$, et par conséquent l'espace parcouru sera égal à $\frac{1}{10}$ de $4^m,9$, ou à $0^m,49$.

On voit que dans la machine que nous venons de décrire, les divisions de l'échelle doivent être proportionnelles aux petites masses qu'on emploie pour produire le mouvement, en sorte que l'on peut avoir sur cette échelle des décimètres ou des centimètres qui représentent exactement un mètre dans la chute naturelle des corps. Cette manière d'opérer présente un grand avantage, soit par la commodité de répéter à volonté des expériences, soit parce que les vîtesses ne devenant jamais considérables, les effets de la résistance de l'air sont presque nuls; mais elle offre aussi des inexactitudes, qui dépendent, 1°. de ce que la masse de la poulie doit être mise en mouvement en même temps que les poids. Quant à cette première cause, elle ne dérange pas la loi d'accélération, et l'on peut même la faire entrer dans le calcul, en supposant que la moitié de la masse de la poulie est réunie à celle des deux corps en mouvement; 2°. de ce que le fil, quoique très-fin, a pourtant une pesanteur et une roideur quelconque; 3°. enfin de ce que le frottement, quoique diminué autant que possible, ne peut cependant être réduit à zéro. Ces deux dernières causes sont insusceptibles d'être soumises au calcul; mais leur influence est heureusement très-peu considérable dans une machine bien faite.

En laissant tomber du haut de l'échelle un des deux poids chargé d'une masse accélératrice proportionnée à l'échelle dont on fait usage, plaçant le

petit plateau dans le point convenable de l'échelle, et comptant exactement les temps de la chute, on vérifie très-aisément que les corps parcourent des espaces proportionnels aux carrés des temps, et que les espaces parcourus dans des temps successifs sont entre eux comme la série des nombres impairs; mais on peut aussi s'assurer de l'intensité des vîtesses finales. En effet, si l'on place l'anneau à la division de l'échelle où le corps peut arriver en deux secondes, par exemple, on trouve qu'après avoir franchi l'anneau, et y avoir laissé sa masse accélératrice, le corps parcourra dans deux secondes, au-dessous de l'anneau, le double de l'espace qu'il avait parcouru dans les deux premières secondes qu'il a employées pour arriver à cet anneau.

On peut, à l'aide de la même machine, répéter les expériences en sens inverse, et vérifier les lois du mouvement uniformément retardé; car on peut faire que les deux poids passent chacun dans un anneau, en sorte que l'un abandonne la force accélératrice au moment où l'autre en prend une égale qui doit le retarder. En effet, au moment où la force accélératrice abandonne le système, il devrait suivre un mouvement uniforme dont on connaît la vîtesse, et l'on peut en conséquence juger de l'influence de la force retardatrice sur la vîtesse acquise connue.

Nous ne donnons point ici de figure représentant la machine d'Atwood, et les expériences qu'on

peut faire avec elle, parce que ces sortes de représentations font très-difficilement concevoir des constructions aussi compliquées, et peuvent même en donner des idées fausses, tandis qu'on en prend les notions les plus justes, en considérant pendant quelques instans la machine elle-même, qui se trouve dans tous les cabinets de physique, et avec laquelle nous répétons les expériences dans les cours publics.

Il résulte des lois que nous venons d'exposer, un certain nombre de phénomènes que nous observons journellement, et dont l'appréciation dépend de la connaissance de ces lois. Ainsi, les corps qui tombent d'une grande hauteur, se trouvant animés d'une vîtesse proportionnelle aux temps de leur chute, produisent des chocs extrêmement violens. Et comme la pluie, la grêle, tombent en effet de plus d'une lieue de hauteur, ces substances devraient acquérir des vîtesses énormes et capables de leur faire briser les corps les plus résistans. Ainsi, un grain de grêle devrait arriver à la surface de la terre avec une vîtesse capable de lui faire parcourir environ 300 mètres par seconde, vîtesse presqu'égale à celle d'un boulet de 24 qui sort du canon.

Heureusement nous verrons, en parlant de la résistance des milieux, que celle de l'air s'accroissant rapidement avec la vîtesse du corps qui tombe, finit par la rendre uniforme et assez médiocre, du moins quand les corps ne présentent pas une masse considérable. Il en résulte que les effets de la grêle

ne sont dangereux que quand les grêlons ont une grande masse.

On peut se servir des lois de la pesanteur pour mesurer approximativement la hauteur d'un édifice ou la profondeur d'un puits. Il suffit de laisser tomber un corps pesant de toute la hauteur à mesurer, et de compter le nombre de secondes que dure la chute, soit avec une montre à secondes, soit même par les battemens du pouls. En effet, soit x la hauteur cherchée, et 3″ le temps de la chute : on aura $x = 1/2\ gt^2$, c'est-à-dire, la moitié de la vîtesse au bout d'une seconde, qui est 4m,9, multipliée par le carré du temps, qui est 9, ou 44m,1, qui sera la hauteur de la tour ou la profondeur du puits. Si l'on juge du moment de l'arrivée du corps au bas de la tour ou au fond du puits, par le bruit que produit sa chute, il faudra tenir compte du temps que le son met à parcourir le même espace et le déduire du temps total observé. Ces moyens ne fournissent, au reste, qu'une appréciation grossière, attendu la résistance de l'air et la difficulté de tenir compte des fractions de secondes.

DE LA COMPOSITION DE LA PESANTEUR AVEC D'AUTRES PUISSANCES.

La force de la pesanteur agissant incessamment sur toutes les particules de la matière, elle doit se trouver à tout moment combinée avec d'autres puissances. Et même, comme on peut dire que

chaque particule matérielle qui entre dans la composition d'un corps jouit de sa force particulière de pesanteur, il arrive que ces différentes puissances, soit dans un même corps, soit dans des corps différens, peuvent se composer entre elles; en sorte, par exemple, que, dans un corps, la somme des puissances de pesanteur produit une résultante, qui se compose elle-même avec la résultante des forces d'un autre corps. C'est ainsi qu'il arrive aux poids que l'on suspend aux deux extrémités du fléau d'une balance.

Pour étudier avec ordre ces différentes circonstances importantes, nous nous occuperons, 1°. de la pesanteur considérée dans différens corps, ou du *poids absolu* ou *relatif;* 2°. de certains mouvemens produits par la pesanteur dans des corps suspendus à un point fixe, ou du *pendule;* 3°. des changemens produits dans les effets de la pesanteur par des obstacles absolus, obliques à sa direction, c'est-à-dire des *plans inclinés;* 4°. enfin, de la composition de la pesanteur avec les forces de projection.

68. *Du poids des corps.* — On donne le nom de poids d'un corps à la somme des puissances en vertu desquelles ce corps tend à s'approcher du centre de la terre. Cette somme de puissances agit évidemment sur un plan solide sur lequel repose actuellement un corps quelconque; en sorte qu'on peut encore appeler poids la pression totale exercée par un corps sur un obstacle horizontal.

Il est facile de concevoir que l'intensité de la pression dont nous venons de parler dépend : 1°. de l'énergie de la pesanteur qui sollicite chaque particule ; 2°. du nombre de particules ainsi sollicitées ; et nous avons dit que ce nombre de particules était désigné par le nom de masse du corps. En conséquence, le poids d'un corps est proportionnel au nombre de particules qui le composent, ou à sa masse, lorsque la pesanteur reste constante ; et la masse restant constante, le poids peut augmenter ou diminuer comme l'énergie de la pesanteur elle-même. Ainsi, un corps composé de cent particules sera deux fois plus pesant qu'un autre corps composé de cinquante particules ; et le même corps, toujours composé de cent particules, deviendrait moitié moins pesant, s'il était assez éloigné de la terre pour que la force d'attraction fût diminuée de moitié. Ce même corps serait plus pesant au pôle et moins pesant à l'équateur.

Quoique le poids soit variable dans les corps, en raison du nombre de leurs particules, il n'en est pas moins vrai que, si le corps le plus lourd était abandonné à sa chute naturelle comparativement avec un moins pesant, tous deux tomberaient avec des vîtesses égales, puisque le nombre des particules qui se meuvent à la fois n'influe en rien sur la vîtesse que chacune d'elles peut prendre. C'est ainsi que, pour nous servir d'une comparaison vulgaire, quatre chevaux courant de front ne vont pas plus vîte que l'un d'eux séparément,

quoiqu'ils soient capables d'exercer une puissance quatre fois plus grande.

S'il est démontré que sous la même latitude le poids des corps est proportionnel à leur masse, il est évident que l'on peut prendre l'un pour l'autre; et c'est ce que l'on fait habituellement en mécanique, où nous n'avons d'autres moyens de comparer les masses qu'en mesurant le poids.

Pour mesurer le poids d'un corps, il faut, comme dans toute autre circonstance de mesure, établir un objet fixe de comparaison; et l'on sait que dans le nouveau système de poids et mesures, la masse qui sert de point de comparaison est celle d'un centimètre cube d'eau distillée, qu'on a nommé *gramme*. Le moyen mécanique que l'on emploie pour comparer les poids inconnus avec les poids connus, est un instrument qui porte le nom de *balance*, et que nous décrirons en parlant de la mécanique des corps solides. Il a pour effet de constater l'équilibre entre la somme totale des forces de pesanteur d'un corps donné, et la somme totale des forces de pesanteur d'un corps connu.

Le poids d'un corps peut être estimé sans aucune considération du volume de ce corps ou de l'espace qu'il occupe; et sous ce rapport on nomme le poids des corps, *poids absolu*.

69. *Du Poids spécifique.* — Les particules de matière qui composent les corps ne sont pas toujours, avons-nous dit précédemment, également écartées

les unes des autres, ensorte que dans un même espace donné il peut entrer un grand nombre de particules de telle espèce de corps, tandis qu'il n'y peut exister qu'un nombre beaucoup moindre de particules d'un corps d'une autre espèce. Si nous considérons que le poids des corps est pour nous l'expression du nombre de particules qui les composent, ou de leur masse, il deviendra facile d'apprécier la masse d'un corps qui peut être contenu dans un volume donné; il suffira pour cela de peser comparativement différens corps d'un même volume. Le résultat de ces recherches est que tous les corps connus diffèrent les uns des autres sous ce rapport; ensorte, par exemple, qu'un certain volume d'or pèse environ 19 fois plus qu'un semblable volume d'eau, et que ce même volume d'eau pèse environ 800 fois plus que le même volume d'air.

On conçoit que tous les résultats des expériences peuvent être rapportés à une unité de volume, à un centimètre cube, par exemple, et que si l'on a pesé des volumes beaucoup plus considérables, ces volumes eux-mêmes seront exprimés par le nombre de centimètres cubes qu'ils contiendront, comme le poids le sera de son côté par le nombre de grammes qu'il représentera.

On donne le nom de *poids spécifique* à ce poids que présente chaque corps sous un volume donné; et si l'on appelle P le poids absolu d'un corps, et V son volume, on voit que le poids spécifique sera égal

à $\frac{P}{V}$, c'est-à-dire au rapport du poids au volume.

Comme le poids spécifique consiste dans une suite de rapports variés entre les poids et les volumes des différens corps, il devenait nécessaire d'avoir des points de comparaison pour ces quantités nouvelles, et l'on est convenu de prendre le poids spécifique d'un volume d'eau pour terme de comparaison des corps liquides ou solides, et le poids spécifique d'un volume d'air pour terme de comparaison des corps gazeux. Afin de simplifier l'expression, on appelle 1,0000 le poids spécifique de l'eau ou de l'air qui servent de comparaison. Si, par exemple, on trouvait qu'un volume d'or pesât 19 fois le même volume d'eau, l'expression de son poids spécifique serait 19,0000; et si l'on trouvait qu'un volume d'huile pesât moitié moins qu'un semblable volume d'eau, l'expression de son poids spécifique serait 0,5000. Nous verrons, en traitant des corps solides, liquides et gazeux, quelles méthodes ont été imaginées pour déterminer les poids relatifs ou spécifiques de chacune de ces espèces de corps.

Nous devons faire remarquer ici, que l'on emploie très-habituellement l'expression de *pesanteur spécifique* pour désigner le poids relatif des corps : cette expression est vicieuse et susceptible d'induire en erreur, puisqu'on nomme généralement pesanteur la force même de l'attraction terrestre qui sollicite les particules de la matière, laquelle

8*

force est constante et absolument la même pour tous les corps différens, et par conséquent ne saurait avoir rien de spécifique ; tandis que le poids, dépendant du nombre des particules en action, est proportionnel à ce nombre, et peut devenir spécifique quand on le compare au volume.

Il est encore essentiel de remarquer que nous employons fréquemment, en parlant des corps, les épithètes de *lourds* ou de *légers*, lesquelles sembleraient exprimer qu'un corps peut être d'une manière absolue plus ou moins pesant qu'un autre ; ce qui pourtant est absolument faux ; ces différences de poids n'ayant de réalité que quand on les considère dans des volumes égaux de différens corps. Ainsi, on appelle corps *lourds* ou *pesans* ceux qui présentent une grande masse sous un petit volume ; on nomme corps *légers* ceux qui présentent une petite masse, quoiqu'ils occupent un grand volume. En sorte qu'il n'y a pas de corps lourds ou légers quand on parle du poids absolu, et qu'une livre de plume est aussi lourde qu'une livre de plomb ; mais que la plume devient légère comparativement au plomb, quand on examine des volumes égaux de ces corps, ou quand il est question du poids relatif.

DU PENDULE.

70. Nous avons dit que lorsqu'un corps pesant, comme une balle de plomb, par exemple, était

suspendu à un fil attaché à un point fixe, ce fil prenait exactement la direction de la puissance d'attraction terrestre; en sorte que ce corps peut être considéré comme en équilibre, entre la force de la pesanteur dirigée de haut en bas, et la puissance opposée de la résistance du fil, dirigée de bas en haut.

Si, lorsqu'un corps est dans la situation que nous venons de décrire, on vient à l'écarter de sa direction verticale, cet écartement ne saurait avoir lieu sans que le corps décrive un arc de cercle, puisque le fil qui le suspend est attaché à un point fixe où se trouve le centre du cercle décrit. Mais si le corps a ainsi parcouru un arc d'une étendue quelconque; si, par exemple, il a été transporté de A en B (*fig.* 11), il est évident que, dès-lors, les deux forces BE et CB ne sont plus directement opposées l'une à l'autre, et qu'elles auront une résultante commune dans la direction BA; l'élévation du corps sera la même que si le corps avait été porté de A en *b*. Maintenant, si dans le point B on vient à abandonner le corps à lui-même, il tendra à descendre par la ligne BE; mais comme il sera encore retenu par le fil inextensible CB, il sera forcé, pour satisfaire autant que possible à la pesanteur qui le sollicite, de retourner au point A en parcourant l'arc BA. Lorsque le corps sera ainsi parvenu au point A, il aura acquis une certaine vîtesse qui lui fera continuer sa route suivant l'arc AG : mais comme en parcourant cet arc les deux forces qui le sollicitent recommencent à former un

angle entre elles, la pesanteur, qui tout-à-l'heure était pour lui une force accélératrice, deviendra retardatrice, jusqu'à ce que, dans un certain point G, la totalité du mouvement du corps se trouve détruite et qu'il reste en repos; mais alors le mobile retombera nécessairement par un nouveau mouvement accéléré jusqu'au point A, pour remonter de l'autre côté jusqu'au premier point B. On donne le nom d'*oscillations* à ces mouvemens alternatifs d'un corps pesant suspendu à un fil. Ces oscillations seraient éternelles, si la résistance de l'air et le frottement qui s'exerce au point C ne détruisaient à chaque fois une petite quantité du mouvement du corps; en sorte que les oscillations diminuent peu à peu d'amplitude, et qu'au bout d'un certain temps le corps se trouve immobile au point A.

L'observation la plus générale que présente le genre de mouvement dont nous venons de parler, c'est que les oscillations d'un même pendule sont *isochrones*, c'est-à-dire s'opèrent dans des temps égaux, quoique les arcs décrits ne le soient pas, et pourvu que ces arcs ne soient pas très-grands.

Il est évident que la vîtesse du mobile qui forme le pendule dépend à la fois et de la puissance d'attraction qui tend à le rapprocher de la terre, et de la force centripète représentée par le fil inextensible. Or, il suffit de la simple inspection de la figure, pour s'apercevoir que ces deux forces DE et BC forment un angle entre elles toutes les fois que le pendule n'est pas dans la direction verti-

cale. Il est facile de juger aussi, que cet angle sera d'autant plus aigu que la longueur du pendule sera moindre, l'espace parcouru par le corps restant le même, et qu'en conséquence l'action de la pesanteur agira avec d'autant plus d'avantage que le pendule aura moins de longueur; ce qui devra nécessairement rendre le mouvement du corps plus rapide, ou le temps des oscillations plus court. Pour faciliter l'établissement des calculs, il est d'abord nécessaire de supposer que toute la masse du corps est réunie au point A, et que le fil n'a aucune masse par lui-même. C'est à ce cas idéal que l'on donne en mécanique le nom de *pendule simple*. Quant aux masses matérielles d'un certain volume qui sont suspendues à des tiges métalliques, elles forment ce que l'on appelle des *pendules composés*, et peuvent recevoir l'application des lois qui président au mouvement du pendule simple, en tenant compte de la disposition des particules matérielles qui les composent, et de la situation de ce qu'on appelle leur *centre d'oscillation*.

Nous bornant ici au cas supposé du pendule simple, nous ferons remarquer qu'un corps qui tombe par le diamètre d'un cercle ou par une des cordes de ce cercle répondant au bas du diamètre, parcourt ces deux lignes dans le même temps, ainsi que nous le démontrerons en parlant du plan incliné. Il s'ensuit que si le pendule, dans ses oscillations, tombait de B en A par la ligne droite BA, il emploierait, pour faire cette demi-oscillation,

un temps aussi long que pour tomber de toute la hauteur du diamètre, dont le rayon est CA. D'où il résulte que, dans ce cas, les demi-oscillations présenteraient une égalité parfaite avec les chutes par le diamètre du cercle que peut décrire le pendule, et que l'oscillation entière se ferait dans un temps double.

Maintenant, si nous supposons que le pendule soit raccourci, le diamètre du cercle qu'il décrit le sera dans la même proportion, et le nouveau pendule oscillera dans le double du temps qu'emploierait le corps à tomber par le nouveau diamètre. Il s'ensuit donc que la durée du temps des oscillations sera proportionnelle à la durée du temps de la chute par le diamètre. Mais la durée de la chute verticale d'un corps est proportionnelle à la racine carrée de la longueur de cette chute, ou de l'espace parcouru, puisque nous avons démontré que les espaces parcourus par les corps qui tombent étaient proportionnels aux carrés des temps de leur chute. Par exemple, si un corps tombe pendant une seconde et parcourt un espace comme 1, en tombant pendant deux secondes il parcourra un espace comme 4. Ainsi, l'espace 1, parcouru dans une seconde, qui est la moitié de deux secondes, n'est que le quart de l'espace 4 parcouru pendant deux secondes. Et les oscillations du pendule étant proportionnelles aux temps des chutes, un pendule moitié plus court oscillera quatre fois plus vîte, et réciproquement.

Il n'est pas vrai, comme nous l'avons supposé, que le pendule se meuve suivant la corde de l'arc qu'il décrit. Mais on démontre que les corps parcourent les arcs d'un cercle plus vite que les cordes de ces arcs, dans la proportion constante de 393 à 300; en sorte qu'il reste vrai que les *oscillations des pendules se font dans des temps qui sont proportionnels aux racines carrées de leur longueur.*

Cette loi est vraie tant que l'énergie de la pesanteur ne varie point; mais si l'énergie de l'attraction vient à varier, la durée des oscillations variera aussi, la longueur du pendule restant la même; et l'on déduit de considérations analogues cette seconde loi : *que la durée des oscillations est en raison inverse de la racine carrée de l'intensité de la pesanteur.* D'où l'on peut conclure directement cette troisième loi : *que le nombre d'oscillations, dans un temps donné, est directement comme la racine carrée de l'intensité de la pesanteur,* ou encore, que *l'intensité de la pesanteur est comme le carré du nombre des oscillations, dans un temps donné.*

Ainsi donc, s'il existait un lieu de la terre, où un pendule d'une longueur donnée fît 60 oscillations par minute, et que dans un autre lieu ce même pendule en fît 70, on conclurait que dans ces deux endroits les intensités de la pesanteur sont comme le carré de 60 est au carré de 70, ou comme 3,600 est à 4,900.

Les lois que nous venons d'établir sont d'un avantage inappréciable pour déterminer avec la

plus grande exactitude l'intensité des forces d'attraction. Elles ont servi à reconnaître la figure de la terre, et elles servent également à mesurer toute autre force d'attraction que celle du globe ; et par exemple, les attractions électriques et magnétiques. Galilée et Huyghens ont fait la plus heureuse application du pendule à la mesure du temps, et l'on conçoit, en effet, que rien n'était plus propre à cette mesure, que les mouvemens très-sensibles et parfaitement isochrones de l'oscillation d'un pendule. Le premier de ces physiciens se servait d'un pendule isolé, dont il entretenait sans cesse le mouvement, en comptant les battemens, pendant la durée de ses expériences ; ce qui leur a donné un caractère d'exactitude inconnu jusqu'à lui. Le second imagina d'appliquer le pendule aux horloges pour en régulariser le mouvement, et cet usage est devenu général, avec de très-grands avantages.

Pour obtenir la mesure du temps au moyen du pendule, il a fallu déterminer avec précision la longueur exacte d'un pendule, propre à faire ses oscillations dans une fraction quelconque du jour sidéral. Et comme on a adopté pour unité du temps, la seconde, c'est-à-dire la 86,400^{me} partie du jour, on a reconnu qu'à Paris le pendule simple qui battrait des secondes, devait avoir exactement o^{m},99359 ou 3 pieds 8 lignes et $\frac{6}{10}$ de ligne. On voit que le pendule qui bat des demi-secondes, doit avoir pour longueur le quart

de 0^m,99359, c'est-à-dire 0^m,24839, tandis que le pendule qui battrait de deux secondes en deux secondes, devrait avoir 4 fois 0^m,99359 ou 3^m,97436.

Les véritables pendules ne présentent jamais toute leur masse réunie dans un point; leur longueur absolue n'est pas celle que nous venons d'indiquer. Cette longueur est même susceptible de varier par les changemens de température. Nous dirons, en parlant de l'oscillation des corps solides, les moyens qui ont été imaginés pour déterminer ces longueurs et les rendre invariables.

DU PLAN INCLINÉ.

71. Étant donné un corps pesant, si ce corps repose sur un plan horizontal, il est évident que le corps sera sollicité, d'une part, par la pesanteur qui agit verticalement de haut en bas, et d'ailleurs, par la résistance du plan qui agit verticalement de bas en haut. Les deux puissances étant directement opposées, le corps restera en équilibre et immobile ; c'est ce qui arrive, en effet, à tout corps pesant qui repose sur un plan horizontal. Si, au contraire, un corps pesant est placé en contact avec un plan vertical, la direction de la résistance du plan, étant perpendiculaire à celle de la pesanteur, n'en dérangera nullement l'effet, et le corps tombera librement suivant les lois ordinaires de la chute des corps. Mais entre ces deux dispositions extrêmes, le plan peut affecter tous les degrés possibles d'obliquité, et dès lors la

pesanteur ne sera jamais absolument détruite par la résistance du plan, quoique son effet soit en partie combattu par cette résistance. Soit, par exemple, le plan incliné AC (*fig.* 12). Si nous représentons par A *a* la force de la pesanteur qui sollicite le corps A, la résistance du plan devant toujours être perpendiculaire à sa surface, sera dans la direction de la ligne A *b*, qui formera un angle avec la première; et si l'on construit le parallélogramme A *b* A'*a*, on aura une diagonale AA', qui représentera la résultante commune des deux forces, qui sera suivant la direction du plan incliné. La longueur A *b* de la ligne, qui représente la résistance du plan, est indéfinie, puisque la résistance du plan est considérée comme telle; en sorte que le parallélogramme serait impossible à construire, si la direction de la résultante AA' n'était pas obligée, par l'existence même du plan, dont le corps pesant ne saurait quitter la surface. On voit donc, que pour connaître le chemin parcouru par un corps, sur un plan incliné, dans le temps d'une certaine chute verticale de ce corps, il suffit de mener par l'extrémité *a* de cette chute, une perpendiculaire *a*A' à la direction du plan incliné.

Si nous supposons dans la même figure, que la ligne *a a'* représente la chute naturelle d'un corps, dans un second temps égal à celui pendant lequel il serait tombé de A en *a*; d'après la loi de la chute des corps, cette seconde ligne sera triple de la première. Et si du point *a'*, nous menons une

nouvelle perpendiculaire $a'A''$ à la surface du plan, la longueur $A'A''$ sera l'espace parcouru sur le plan incliné pendant ce second temps. Mais les triangles AaA' et $Aa'A''$ sont des triangles semblables, et la propriété de ces sortes de figures est d'avoir leurs côtés homologues proportionnels, en sorte que l'on pourra dire que $Aa : Aa' :: AA' : AA''$, c'est-à-dire que les chemins parcourus sur le plan incliné sont entre eux comme les chemins parcourus dans la chute verticale, ou bien encore que la loi d'accélération du mouvement de la chute des corps sur des plans inclinés, est la même que dans la chute verticale. Ainsi, pouvant représenter l'action commune de la pesanteur et de la résistance du plan, par une puissance unique AA' agissant dans la direction de ce plan, on pourra dire que cette puissance, toujours plus petite que la pesanteur, agit avec une énergie constante sur le corps qui parcourt le plan incliné, devient une force accélératrice constante, et produit dans le corps un mouvement uniformément accéléré.

Si nous supposons qu'un cercle soit décrit sur la hauteur AB (*fig.* 13) d'un plan incliné, comme diamètre vertical, admettant d'abord que le plan incliné soit AA', si l'on cherche quel espace un corps parcourrait sur ce plan incliné, dans le temps qu'il mettrait à parcourir le diamètre du cercle, il faudra, par l'extrémité inférieure B du diamètre, mener une ligne BC perpendiculaire à la direc-

tion AA′ du plan incliné. Mais alors le point C se trouvera précisément un des points de la circonférence du cercle; car c'est une propriété de cette figure, que deux cordes menées des deux extrémités du diamètre, au même point de la circonférence, forment un angle droit. Si l'on conçoit maintenant un autre plan incliné AA″, le chemin parcouru sur ce nouveau plan sera déterminé par la nouvelle perpendiculaire BC′, qui tombera sur un nouveau point de la même circonférence. Il en serait de même pour tout autre plan incliné, d'où l'on tire cette conclusion importante:

Un corps parcourt, dans le même temps, le diamètre vertical d'un cercle, ou l'une quelconque des cordes de ce cercle, que l'on peut mener de l'extrémité supérieure de ce diamètre, à la circonférence.

Mais comme nous avons démontré que lorsqu'un corps était tombé pendant un temps quelconque, il possédait une vîtesse acquise, capable de le faire remonter à la même hauteur par un mouvement retardé suivant la loi même de sa chute accélérée, il en résulte que la précédente proposition peut être exactement renversée, en disant: *Un corps s'éleverait par un mouvement uniformément retardé de la hauteur du diamètre d'un cercle, dans le même temps qu'il mettrait à s'élever le long d'une des cordes que l'on peut mener de l'extrémité inférieure de ce diamètre, à l'un des points quelconques de la circonférence.*

Si nous recherchons maintenant quelle peut



être la vîtesse acquise d'un corps qui a parcouru un certain espace le long d'un plan incliné, nous trouverons qu'en représentant par AB (*fig.* 14) la hauteur de ce plan, et par AC sa longueur, lorsque le corps sera arrivé au point C dans sa chute sur le plan incliné, il sera réellement descendu en ligne verticale d'une quantité AB précisément égale à la hauteur du plan. Et quoiqu'il soit descendu de cette quantité dans un temps beaucoup plus long que par une chute verticale, sa vîtesse acquise sera exactement la même. En effet, d'une part, le mouvement du corps qui parcourt le plan incliné est d'autant plus lent, ou la force accélératrice d'autant moindre, que la direction du plan s'approche de l'horizontale. Mais, d'une autre part, la longueur du plan incliné, pour une hauteur donnée, s'accroît précisément suivant le même rapport, en sorte que ces deux influences doivent toujours se compenser exactement. On déduit des considérations que nous venons d'établir les propositions suivantes :

72. 1°. *La durée de la chute d'un corps par un plan incliné est à la durée de la chute par la verticale de ce plan, comme la longueur de ce plan est à sa hauteur.*

2°. *La force qui sollicite un corps suivant la longueur d'un plan incliné est à la force absolue de la pesanteur, comme la hauteur du plan incliné est à sa longueur totale.*

3°. *Les pesanteurs respectives du même corps sur différens plans inclinés sont entre elles comme les sinus*

des angles d'inclinaison. D'où il suit que, dans le plan horizontal, l'action de la pesanteur devient nulle, et qu'elle est à son *maximum* quand le plan est vertical.

Ces différentes propositions se démontrent par l'expérience, soit avec un plan incliné solide sur lequel repose un corps très-mobile dont on équilibre la pesanteur au moyen d'un poids attaché à un fil qui passe par une poulie, soit au moyen d'une corde tendue sur laquelle on fait marcher un curseur.

Puisqu'il est démontré que la loi d'accélération est la même le long d'un plan incliné et le long de la ligne verticale, mais que la vîtesse est beaucoup moindre, il est clair que l'on peut commodément employer un plan incliné au lieu de la machine d'Atwood pour vérifier les lois de la chute des corps que nous avons précédemment établies.

COMPOSITION DE LA PESANTEUR AVEC UNE FORCE DE PROJECTION.

73. La pesanteur sollicitant sans cesse tous les corps de la nature, ils peuvent en outre être mus par une force de projection, qui, cessant bientôt son action, les abandonne à la composition du mouvement uniforme qu'elle produit avec le mouvement accéléré qui résulte de la pesanteur. Et dans cette composition, il peut arriver trois cas différens.

1°. La force de projection peut agir dans le sens même de la pesanteur, et alors le corps parcourt dans chacun des temps de sa chute l'espace voulu par les lois de la pesanteur, plus un espace constant relatif à la force de projection dont il est animé. Par exemple, si cette force est capable de lui faire parcourir $4^m,9$ dans une seconde, il tombera dans la première seconde en vertu de la pesanteur de $4^m,9$, et en vertu de la force de projection de $4^m,9$, c'est-à-dire de $9^m,8$. Dans la seconde suivante, il tombera en vertu de la pesanteur de trois fois $4^m,9$ ou $14^m,7$, plus $4^m,9$ en vertu de la force de projection, c'est-à-dire de $19^m,6$; et ainsi de suite.

2°. La force de projection peut être directement opposée à la pesanteur : le corps s'écartera alors de la terre avec une vîtesse uniformément retardée, et parcourra des espaces qui seront, pour chaque temps de son élévation, égaux à ceux que la force de projection lui aurait fait parcourir seul, moins ceux que la pesanteur aurait pu lui faire parcourir en sens contraire, et il arrivera conséquemment un point où tout mouvement sera détruit dans le corps, et où, commençant à retomber vers la terre, il se comportera comme tout autre corps en chute libre. *Voyez* (53) la composition de la force constante avec la force accélératrice.

3°. La force de projection pourra former un angle avec la direction de la pesanteur, et alors, ainsi que nous l'avons démontré (55), le mobile

devrait décrire une parabole; car les directions de la pesanteur sont, dans un petit espace, sensiblement parallèles entre elles. Mais la résistance de l'air dans lequel se fait l'expérience diminuant continuellement la vitesse du mobile, il en résulte que la seconde branche de la courbe n'est pas semblable à la première, et l'on démontre qu'elle a la propriété d'avoir une asymptote verticale. En tenant rigoureusement compte de la petite obliquité des directions de la pesanteur, on trouve que sans la résistance de l'air la courbe serait une ellipse dont le foyer le plus voisin serait au centre de la terre. Si nous pouvions disposer d'une force de projection beaucoup plus grande que celles que nous possédons, le mobile pourrait alors décrire une parabole ou une hyperbole; mais alors il ne retomberait plus sur la surface du globe.

Ces différentes courbes sont celles que parcourent les projectiles, tels que les bombes et les boulets lancés plus ou moins obliquement par l'explosion de la poudre. On trouvera, en général, que la plus grande distance à laquelle un projectile puisse être porté, coïncide avec une inclinaison de 45° à l'horizon, et qu'on obtient des amplitudes égales quand on s'éloigne de cette direction d'un même nombre de degrés au-delà ou en-deçà, la force de projection restant la même; mais cette force de projection est tellement variable suivant la forme de l'instrument, la quantité de poudre qu'on emploie ou qui brûle réellement, et la ma-

nière dont on a fait la charge, que l'habitude et l'exercice sont des guides beaucoup plus sûrs que le calcul pour atteindre un but déterminé.

DE L'ADHÉSION.

74. Lorsque deux corps solides ou liquides présentent des surfaces plus ou moins étendues, mais très-unies, si on les applique exactement l'un sur l'autre, ce qui est très-facile d'un liquide à un solide, et ce qui demande un peu plus de soin pour deux corps solides, il arrive que ces deux corps *adhèrent* l'un à l'autre, c'est-à-dire qu'il faut employer une puissance quelquefois très-considérable pour les séparer. On attribue cette adhésion à l'attraction réciproque des deux masses; mais quelques physiciens ayant prétendu que l'adhérence dépendait de ce qu'il n'y avait pas d'air entre les deux surfaces, tandis que l'atmosphère pressait en dehors des deux corps adhérens, on a répondu par l'expérience suivante :

Si l'on fait adhérer deux plans de glace, dont l'un soit suspendu par un crochet, et dont l'autre porte un poids, et que l'on place le tout sous le récipient d'une machine pneumatique, l'adhésion continuera après qu'on aura, par un mécanisme que nous indiquerons plus tard, enlevé l'air de ce récipient. Ainsi l'adhérence n'était pas due à la pression de cet air.

Il est sans doute extraordinaire que deux corps

qui, à une très-petite distance l'un de l'autre, ne semblaient exercer aucune attraction réciproque, s'attirent tout-à-coup aussi fortement quand on les met en contact. On concevra cependant facilement ces deux circonstances, en apparence contradictoires, si l'on considère, 1°. que le poids absolu d'un corps, d'un kilogramme par exemple, est le résultat de la somme des attractions de toutes les particules du globe terrestre sur la somme des particules de ce corps; et que si l'on suppose un autre poids d'un kilogramme attirant le premier, sa force d'attraction sera autant de fois plus petite que la pesanteur, qu'il peut y avoir de kilogrammes dans la masse totale de la terre, et que par conséquent cette puissance sera trop petite pour être appréciée par des moyens ordinaires.

2°. Que la force de l'attraction s'accroissant comme le carré des rapprochemens entre les corps, cette force, si petite à une certaine distance, pourra devenir très-sensible si la distance devient infiniment petite; ce qui arrive en effet dans ce que nous appelons un contact.

75. Ces considérations établissent la possibilité du fait de l'attraction réciproque des corps considérés en petite masse; mais Cavendish l'a démontrée et même mesurée par une expérience trop importante pour n'en pas rendre compte ici.

Ayant attaché aux deux extrémités d'une tige très-légère deux petites masses égales, et ayant suspendu ce levier par son milieu, à l'aide d'un

fil de cocon de ver à soie, ce qui constitue *la balance de Coulomb*, il a vu que ce levier étant dérangé de sa direction naturelle, et le fil ayant été par conséquent tordu, le levier se livrait à des oscillations isochrones que l'on pouvait compter avec beaucoup d'exactitude. Plaçant ensuite vis-à-vis l'une des extrémités de ce levier un corps d'une masse assez considérable et connu, il a vu que ce levier faisait dans un temps donné un plus grand nomdre d'oscillations que dans l'absence de la masse, et même il a constaté que différentes masses produisaient des accélérations diverses, et que la même masse exerçait plus d'action de près que de loin, le tout exactement suivant les lois générales de l'attraction que nous avons précédemment établies.

Il reste donc démontré que l'attraction s'exerce entre les petites masses comme entre les grandes, et que l'adhésion de deux surfaces doit être attribuée à cette attraction considérablement accrue par un grand rapprochement. Cependant quelques physiciens ont pensé qu'entre les petits corps l'attraction pouvait bien s'exercer en raison inverse du cube des distances, c'est-à-dire s'accroître beaucoup plus rapidement qu'entre les grands corps, se fondant sur ce que l'attraction *paraît* tout-à-fait nulle à une très-petite distance, et qu'elle devient tout-à-coup très-considérable au point de contact. Cette objection est plus spécieuse que réelle, car 1°. l'attraction n'est point

nulle à une très-petite distance; 2°. dans le rapprochement de deux surfaces polies, il n'y a pas un véritable contact entre toutes les particules; 3°. cette grande puissance de l'adhésion ne se développe que quand on rapproche à la fois les unes des autres un très-grand nombre de particules matérielles composant toute l'étendue des surfaces polies que l'on met en contact. On sait en effet que deux billes de plomb sphériques qui se touchent par un seul point n'adhèrent nullement l'une à l'autre; ce qui devrait arriver, d'après les calculs de Newton, si l'attraction s'accroissait en raison inverse du cube des distances, puisqu'il a trouvé que dans ce cas elle était infinie au point de contact. Il arrive au contraire que les deux billes de plomb adhèrent lorsqu'elles présentent réciproquement des surfaces planes que l'on presse fortement l'une contre l'autre, car dans ce cas la somme des attractions finies de toutes les particules en contact représente une puissance appréciable.

DE LA COHÉSION.

76. On a donné le nom de cohésion à la puissance générale de l'attraction, lorsqu'elle s'exerce entre les particules qui composent un même corps; et comme on peut considérer ces particules comme autant de petits corps plus ou moins rapprochés les uns des autres, il en résulte que tout ce que nous venons de dire de l'adhésion s'applique à la

cohésion. Cette puissance commune à tous les solides et à tous les liquides, et qui n'existe pas dans les fluides aériformes, présente pourtant deux genres d'effets très-différens. Dans les corps solides, elle s'oppose non-seulement à l'écartement réel des particules les unes des autres, mais encore à tout changement de leurs positions respectives, tandis que dans les liquides elle s'oppose bien à l'écartement des particules, mais non à leur déplacement.

On a prétendu, pour la cohésion comme pour l'adhésion, que l'attraction moléculaire s'exerçait en raison inverse du cube des distances; mais M. de Laplace a trouvé le moyen de concilier la loi générale avec les phénomènes de cohésion, en admettant que les intervalles qui séparent en effet les particules des corps les plus solides, sont extrêmement grands relativement au diamètre de ces particules.

L'attraction de cohésion est extrêmement variable dans les corps de nature différente. C'est ainsi qu'elle est très-faible dans le soufre, et très-considérable dans le fer; et comme les molécules élémentaires ou les atômes des corps doivent être infiniment durs, ces différences ne peuvent dépendre que de l'arrangement des particules, et surtout de leur plus ou moins grand rapprochement. On voit en effet que la cohésion peut varier considérablement entre les particules de même nature, suivant leur arrangement. C'est ainsi que le diamant présente une très-grande dureté, tandis

que le carbone est extrêmement friable, quoique les deux corps soient exactement de même nature.

Le degré de cohésion dépend si évidemment du rapprochement des particules, qu'une pression mécanique suffit quelquefois pour rendre un corps très-solide. C'est ainsi que l'*éponge* de platine est convertie en une masse solide par le choc d'un balancier, ou que de l'argile pulvérulente, fortement comprimée dans un moule, produit des briques déjà suffisamment solides pour entrer dans des constructions. On voit encore que le temps seul produit une cohérence considérable entre des particules qui ne formaient d'abord qu'un amas de parties mobiles les unes sur les autres. Nous avons vu de la limaille de fer, oubliée pendant trente ans dans un vase fermé, présenter une masse assez solide pour résister au choc du marteau.

Il est pourtant essentiel de remarquer que les corps qui jouissent de la pesanteur spécifique la plus considérable, ou qui contiennent le plus de particules dans un espace donné, ne sont pas toujours ceux qui présentent la plus grande cohésion; car le plomb, dont la pesanteur spécifique est beaucoup plus grande que celle du fer, présente cependant beaucoup moins de cohésion que ce dernier, puisqu'il faut bien moins de force pour séparer ses particules les unes des autres. Il paraît donc que la forme des molécules primitives et l'arrangement de ces molécules influent considérablement sur la cohésion, et les effets de cet ar-

rangement deviennent surtout bien remarquables dans les tissus organisés qui présentent une résistance à leur déchirement, qui semble tout-à-fait disproportionnée à leur densité et au rapprochement réel de leurs particules.

En supposant ainsi toutes les particules de la matière livrées à une puissance qui tend toujours à les rapprocher, les corps devraient bientôt arriver au *maximum* de dureté et de condensation. On attribue les variétés d'état dans lesquelles ils se présentent sous ce rapport, à l'action répulsive des particules du calorique, et l'on croit qu'il s'établit entre ces forces opposées des équilibres desquels résultent particulièrement l'état solide ou l'état liquide. Malgré la commodité de cette explication générale, il est pourtant bon de remarquer qu'elle ne satisfait point à tous les cas, et qu'il y a des circonstances où les corps augmentent de volume, sans qu'on voie d'où peut naître la plus forte action du calorique, et réciproquement.

La cohésion dans les corps solides présente un grand nombre de modifications que l'on doit considérer comme des propriétés spéciales de ces corps, et dont nous traiterons par la suite sous les noms de *ténacité*, de *ductilité*, d'*élasticité*, etc., etc.

DE L'ATTRACTION DE COMPOSITION.

77. Lorsque des particules de nature semblable sont mises en contact, ou, si l'on veut, suffisam-

ment rapprochées, elles s'unissent en vertu de ce que nous avons nommé attraction de cohésion. Et l'intensité de la force qui les tient réunies est toujours finie ou commensurable. Il est même toujours facile de la vaincre par des moyens mécaniques; et les corps les plus solides se laissent briser et pulvériser, en sorte que leurs molécules, précédemment réunies, se trouvent écartées les unes des autres.

Lorsqu'au contraire on rapproche jusqu'à un certain point des molécules de nature différente, il arrive très-souvent que ces molécules s'unissent tout-à-coup, de manière à ne plus pouvoir être séparées par des moyens mécaniques quelconques. Dans le premier cas, qui n'est qu'une simple agrégation, les molécules réunies n'ont pas d'autres propriétés essentielles que celles qu'elles présentaient auparavant. Dans le second cas, au contraire, qui est une *combinaison*, les molécules réunies présentent des propriétés tout-à-fait différentes de celles qu'elles offraient séparément.

Comme les molécules de nature diverse qui peuvent ainsi se combiner, en sont plus ou moins susceptibles, et semblent, pour ainsi dire, se choisir et se chercher, on a d'abord donné le nom *d'affinité chimique*, et, dans certains cas, d'*affinité élective*, à cette force inconnue qui réunit des particules hétérogènes. Depuis, on lui a donné les noms d'*attraction de composition*, ou d'*attraction de combinaison*.

Le caractère particulier que présente ce genre d'attraction est précisément cette intensité ou cette énergie que l'on peut regarder comme infinie relativement à toutes les puissances mécaniques qu'on peut lui opposer, et qui ne peut être vaincue que par une autre puissance du même ordre, c'est-à-dire par l'attraction de composition d'une ou de plusieurs autres substances.

Il est très-difficile de se rendre compte des phénomènes d'attraction chimique avec les suppositions et les lois que nous avons établies. Cependant on peut dire que si, dans l'agrégation, les particules des corps sont, comme le pense M. de Laplace, à de grandes distances les unes des autres, dans la combinaison elles se trouvent précisément en contact, ou du moins infiniment plus près, ce qui doit rendre l'attraction réciproque infinie ou du moins très-puissante. Et quant aux variétés innombrables que présente l'attraction de composition entre différens corps, on peut s'en rendre compte jusqu'à un certain point par la variété des formes primitives des particules matérielles, qui peuvent être telles, que, même dans le contact de ces particules, les centres de leurs figures se trouvent plus ou moins rapprochés.

L'attraction de composition est soumise à des lois dont la plupart ont été récemment découvertes; mais elle est modifiée par un grand nombre de circonstances qui rendent souvent fort difficile l'application de ces lois. On trouvera sur cet objet

tous les détails que ne comporte point la physique proprement dite, au mot *Affinité*, de notre Dictionnaire de Chimie.

DE LA FORCE DE RÉPULSION DU CALORIQUE.

78. Puisque, malgré l'existence démontrée d'une force attractive permanente, qui sollicite également toutes les particules de la matière, nous ne voyons cependant point ces particules se réunir en une masse unique et se placer aussi près que possible les unes des autres, il faut nécessairement qu'il existe quelque puissance qui s'oppose à l'attraction, qui la combatte avec plus ou moins de succès, et qui prévienne ce rapprochement total qui serait son résultat nécessaire.

Quant aux corps planétaires qui circulent incessamment autour du soleil, et qui depuis tant d'années ne paraissent pas s'en être rapprochés d'une quantité sensible, on explique leur circulation par la supposition d'une impulsion première qu'ils auraient reçue suivant la tangente de leurs orbites. Il en est de même pour les satellites de ces planètes.

Quant aux particules matérielles qui composent les petits corps dont nous disposons à la surface de ce globe, comme ces particules sont vis-à-vis les unes des autres dans un état de repos relatif, on ne saurait admettre une explication analogue; et pour concevoir les phénomènes nombreux de

dilatation, d'expansion et d'élasticité, que présentent ces corps, on a supposé l'existence d'un fluide généralement répandu, auquel on a donné le nom de *calorique*, en lui attribuant des propriétés capables de produire les effets que l'on observe.

On admet donc que le calorique est composé de particules infiniment petites, qui n'ont pas de poids sensible, même quand elles sont réunies en très-grand nombre. On suppose que ces particules peuvent pénétrer l'intérieur de tous les corps; qu'elles ont un certain degré d'attraction pour les particules de ces corps, et enfin qu'elles sont douées d'une force de répulsion les unes par rapport aux autres, force de répulsion qui est inversement proportionnelle aux carrés des distances; en sorte qu'on se représente les particules du corps unies à un certain nombre de particules de calorique, comme sollicitées au rapprochement par leur attraction propre, et à l'écartement par la répulsion des molécules du calorique.

Dans ces suppositions, on conçoit que si dans la masse d'un corps on a introduit de nouvelles quantités de calorique, les molécules de ce fluide se trouveront plus près les unes des autres, éprouveront une répulsion plus forte, et qu'il faudra par conséquent que les particules du corps s'écartent les unes des autres jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli entre les deux puissances opposées.

On conçoit également que le calorique s'accumulant dans un corps solide, peut produire un

assez grand écartement des particules de ce corps, pour qu'elles puissent désormais circuler librement les unes autour des autres ; ce qui constitue le corps liquide, dans lequel il semble que les particules matérielles soient, en quelque sorte, enveloppées d'une sphère de calorique, sans que pourtant ces particules soient assez écartées pour avoir perdu toute attraction réciproque ou toute cohésion.

Enfin, l'on peut aisément imaginer que le calorique s'accumulant encore en plus grande quantité dans un corps solide ou liquide, écarte tellement ces particules les unes des autres, que leur attraction réciproque devienne sensiblement nulle, et que ces particules soient dès-lors livrées à la seule influence répulsive du calorique; ce qui constitue les *fluides aériformes.* On sent, du reste, que si l'attraction des molécules du calorique pour les molécules du corps est très-forte, il pourra en résulter un *fluide aériforme permanent*, c'est-à-dire un gaz; tandis que si cette attraction est faible, le calorique pouvant être aisément séparé des molécules du fluide aériforme, il en résultera une *vapeur.*

Il s'en faut de beaucoup que les suppositions que nous venons d'établir, répondent d'une manière tout-à-fait satisfaisante à l'ensemble des phénomènes de la nature. Mais ce sont les plus probables qu'il nous soit permis d'établir, dans l'état actuel des connaissances, et il nous convient de les adopter,

quand ce ne serait que pour donner un cadre à l'observation des faits, et en faciliter l'étude. (Voyez le livre intitulé *Calorique*.)

DES FORCES ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES.

79. Indépendamment des deux puissances générales dont nous avons déterminé l'existence et les lois, on observe que dans certaines circonstances, les corps exercent, les uns sur les autres, des attractions et des répulsions qui sont évidemment indépendantes de l'attraction générale et de la répulsion du calorique; qui ne se développent que dans des cas déterminés; qui ne durent pas plus que les circonstances qui les produisent, mais dont l'intensité est souvent extrêmement considérable. Qu'un corps résineux, ou un morceau de verre soit légèrement frictionné dans un air sec, il deviendra capable d'attirer avec force un autre corps, et même de surmonter l'action de la pesanteur. On dit que ce corps est alors dans un *état électrique*; et l'on admet l'existence de deux fluides électriques opposés, qui s'attireraient l'un l'autre, et dont les molécules se repousseraient réciproquement. Ces deux puissances nouvelles et accidentelles suivent, dans leurs effets, des lois analogues à celles de l'attraction; et si l'on ne peut y reconnaître aucune dépendance des masses, puisque l'électricité est impondérable,

on a du moins constaté qu'elles s'exerçaient en raison inverse du carré des distances.

Ce qui rend l'étude des forces électriques extrêmement importante, c'est qu'il paraît que tous les corps de la nature ont des dispositions électriques particulières ; en sorte qu'il serait possible que les phénomènes que nous avons attribués à l'attraction de composition, fussent uniquement déterminés par les attractions et les répulsions électriques. (Voyez le livre intitulé *Électricité.*)

On trouve dans la nature certaines masses ferrugineuses qui jouissent de la propriété d'attirer le fer, et qui, par le contact, peuvent lui communiquer la faculté d'agir de même sur une autre masse de fer ; et si deux de ces masses rendues très-mobiles par une suspension convenable, sont rapprochées l'une de l'autre, on observe qu'elles ont des extrémités qui s'attirent ou se repoussent réciproquement. On voit même que la terre agit sur elles d'une manière analogue, puisque l'une de leurs extrémités se dirige vers un pôle, et l'autre vers le pôle opposé. On donne aux corps qui jouissent de ces propriétés, le nom d'*aimans naturels* ou *artificiels.* On attribuait autrefois ces attractions et ces répulsions à un fluide particulier, qu'on avait nommé *magnétique*; mais on a reconnu depuis, que tous les corps qui sont actuellement le siége d'un courant électrique, jouissent de propriétés analogues; et les deux causes supposées

paraissent se confondre dans une seule. (Voyez *Électricité galvanique.*)

DES FORCES OU PUISSANCES ORGANIQUES.

80. Si l'on considère dans leur plus grande généralité les êtres vivans ou organisés, on reconnaît bientôt que tous sans exception se trouvent nécessairement formés de solides et de liquides ; les premiers servant à contenir les seconds ; et présentant des canaux plus ou moins déliés. Une seconde observation non moins générale, c'est que les fluides parcourent la longueur des canaux, ou se meuvent dans les capacités qui les contiennent, tant que l'être organisé est vivant. Après sa mort, les canaux et les liquides qu'ils contiennent, existent encore dans leur intégrité ; mais les fluides ne se meuvent plus ; tout mouvement intérieur est suspendu, et dorénavant cette matière encore organisée, mais qui n'est plus vivante, se comportera comme tout le reste de la matière. Il y a donc, comme condition inséparable de la vie, des forces ou puissances qui mettent la matière en mouvement dans les corps organisés ; et à cause de cela, on les a nommées *forces organiques* ou *forces vitales.*

Si l'on se représente l'élément général de l'organisation comme un petit canal contenant un liquide, on ne pourra concevoir le mouvement du liquide dans le canal qu'en supposant que les pa-

rois de celui-ci se resserrent pour obliger le liquide à passer dans une autre partie de sa longueur. Si ce resserrement a lieu dans un seul point d'un tuyau libre dans le reste de son étendue, le liquide se portera également vers les deux extrémités opposées du canal. Mais si quelque obstacle, qu'on peut se représenter comme une valvule ou une soupape, empêche le liquide de s'échapper dans un sens, il se portera tout entier dans l'autre, et il en résultera ce qu'on appelle une *circulation*. Au lieu de cet élément simple de l'organisation, il pourra se rencontrer dans les êtres vivans, d'une organisation complexe, de grandes cavités susceptibles de resserrement et communiquant avec de nombreux canaux : c'est ce qu'on observe dans le cœur des animaux pourvus de ce genre d'organes.

On voit donc que, quelle que soit la petitesse ou l'étendue des dispositions organiques qui produisent le mouvement des liquides, on ne peut l'attribuer qu'à un resserrement des parties solides ; et c'est pourquoi ce mode d'action a été nommé *contraction*.

81. Il est évident que ce phénomène général de la nature organique ne dépend d'aucune des causes que nous avons étudiées jusqu'à présent : par conséquent il doit en avoir une, dont la nature nous sera aussi complètement inconnue que celle de l'*attraction*; et c'est à cette cause que l'on a donné le nom de *contractilité*, supposant ainsi que les organes des êtres vivans sont doués de cette pro-

priété, comme nous supposons la matière en général douée de la propriété attractive.

Si nous ignorons la cause des phénomènes dont nous venons de parler, il n'en est pas moins important d'étudier leur marche et de rechercher les lois qui y président; ce qui constitue la *physiologie*, comme l'étude des autres lois naturelles constitue la *physique* ou la *chimie*. Mais la difficulté devient ici beaucoup plus grande, car la contractilité peut exister dans les organes sans que la contraction ait lieu actuellement, et il paraît indispensable qu'un excitant quelconque vienne agir sur ces organes pour mettre en jeu la propriété dont ils sont doués. On a nommé *sensibilité* cette faculté qu'ont les organes d'agir en vertu des excitations, et on en a fait une propriété des êtres vivans, quoiqu'on puisse la considérer seulement comme une circonstance de la contraction.

La mesure de l'énergie de la force de contractilité ne présente pas moins de difficulté; elle semble plutôt relative à l'intensité de l'excitation qu'à toute autre condition de la puissance elle-même. Il résulte de ces considérations que les forces vitales échappent à l'application rigoureuse du calcul.

D'ingénieux physiologistes ont fait subir aux propriétés vitales des divisions et subdivisions fondées sur la nature de leurs effets, et sur l'espèce d'excitant qui peut les mettre en jeu : c'est ainsi que Bichat a nommé *contractilité organique*, celle

que la volonté ne peut pas déterminer; *contractilité animale*, celle qui lui est soumise ; *contractilité organique insensible*, celle qui réside dans les plus petits vaisseaux dont on ne peut pas observer les effets en détail, et dont on ne peut juger que par des résultats généraux ; et enfin *contractilité organique sensible*, celle qui n'est pas soumise à la volonté, mais qui produit des mouvemens très-appréciables.

82. Indépendamment de ces puissances qui paraissent inhérentes aux molécules matérielles vivantes, et des phénomènes de détail qu'elles produisent, les physiologistes ont remarqué que dans la multitude des mouvemens variés, sensibles ou insensibles, qui s'exécutent continuellement dans un animal vivant, il s'établissait indépendamment de la volonté, un ordre déterminé, une coïncidence constante entre plusieurs effets produits par des organes différens situés dans différens lieux du corps, et que la supposition de l'existence de la contractilité avec toutes ses variétés ne suffisait pas pour rendre compte de cette combinaison régulière d'actions diverses, ou de cette synergie dont nous venons de parler. Ils ont en conséquence admis l'existence d'une force, ou d'une cause commune régulatrice, qu'ils ont nommée *principe vital*. C'est seulement dans ce sens qu'il faut entendre ce que Barthez a dit de cette cause commune et générale.

83. Il existe dans les êtres organisés animaux, et surtout dans les classes les plus élevées de cette



grande division des êtres vivans, des organes spéciaux qui semblent doués plus que tous les autres de la propriété contractile, et destinés à produire de grands mouvemens entre les différentes parties du corps de l'animal, ou même à transmettre ces mouvemens à d'autres corps. C'est à ces organes qu'on a donné le nom de *muscles*. Ils sont en général soumis à la volonté, et presque toujours destinés à mouvoir les différentes parties d'une charpente osseuse qui soutient ou renferme les différens organes de l'animal, et qu'on nomme *squelette*.

Les muscles sont évidemment formés de fibres longitudinales et parallèles, dont les longueurs et les dispositions varient à l'infini, mais qui toutes sont susceptibles de contraction, et se raccourcissent alors, ou tendent à se raccourcir avec une énergie qui donne une idée très-sensible de la force de contraction. On conçoit que si un faisceau quelconque de semblables fibres se trouve attaché par ses deux extrémités à deux points différens, ces deux points seront rapprochés par la contraction, et parcourront des chemins différens, suivant qu'ils offriront, l'un par rapport à l'autre, une résistance plus ou moins considérable au mouvement.

Les puissances motrices qui résident dans chacune des masses musculaires, sont distribuées dans l'ensemble du corps de l'animal, d'une manière extrêmement variée, quoique constante pour

chaque espèce, et toujours parfaitement appropriée à la nature des mouvemens que les différentes parties du corps de l'animal doivent exécuter.

L'étude de ces dispositions et de leurs effets nécessaires constitue une partie de la physiologie qu'on nomme *mécanique des animaux.* Si cette mécanique est toute entière sous l'influence des lois vitales, quant à la cause et à l'énergie de la contraction musculaire, elle rentre pour tout le reste sous les lois physiques ordinaires, comme nous le ferons voir en traitant de la mécanique des corps solides, et indiquant quelques-unes de ses applications à la mécanique animale. C'est alors aussi que nous pourrons traiter de la théorie des grands mouvemens de l'homme ou des animaux, aussi bien que de l'application de leurs forces propres au mouvement des corps extérieurs.

LIVRE SECOND,

DES CORPS SOLIDES.

CHAPITRE PREMIER.

DES PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DE LA MATIÈRE, CONSIDÉRÉES DANS LES CORPS SOLIDES.

84. Nous avons considéré jusqu'ici la matière en général, et abstraction faite des différens états qu'elle peut présenter; nous n'avons vu en elle que des points matériels isolés ou invariablement liés entre eux; nous avons étudié les lois qui président aux phénomènes les plus généraux; nous avons même passé en revue les différentes causes qui peuvent être considérées comme produisant les modifications de la matière. Il est maintenant nécessaire d'appliquer ces principes généraux à l'étude des phénomènes que présentent les corps eux-mêmes, et tels que la nature nous les offre sous forme solide, liquide ou fluide élastique. Indépendamment des propriétés générales de la matière, que nous retrouverons avec des modifications spéciales dans chaque genre de corps,

nous y découvrirons des propriétés particulières qui dépendent de leur état, et nous les verrons produire des phénomènes qui ne peuvent être considérés comme appartenant indistinctement à toute espèce de matière, mais qui sont déterminés par l'arrangement particulier que les molécules présentent dans ces différens états.

Nous commencerons ce nouveau mode d'étude par les corps solides.

ÉTENDUE ET FIGURE DES SOLIDES.

85. **Nous savons que l'étendue indéfinie** n'a rien d'applicable à des corps en particulier, et qu'elle n'appartient qu'à l'espace. Il n'en est pas de même de l'étendue limitée, qui présente nécessairement des *formes* ou des *figures*.

Tout corps solide a nécessairement une figure déterminée; cette figure a même une sorte de fixité ou de constance, puisque c'est la propriété caractéristique des solides, que leurs particules soient entre elles dans des rapports de situation qui ne peuvent être changés sans l'emploi d'une force assez considérable. La figure des corps solides peut être irrégulière ou régulière : la figure irrégulière est celle que l'on ne peut rapporter exactement à aucune forme géométrique; elle dépend, dans les corps solides, d'une multitude d'incidens impossibles à énumérer, tels que les chocs, les fractures, le roulement des corps les-

uns sur les autres, comme dans le lit des rivières; ou l'accumulation subite d'un grand nombre de particules qui se réunissent sans ordre. Il paraît que toutes les causes déterminantes des formes irrégulières doivent être regardées comme perturbatrices, et que naturellement tous les corps solides tendraient, en se formant, à prendre des figures régulières.

Les formes régulières des solides portent, en général, le nom de *polyèdres* ou figures à plusieurs faces. On leur donne aussi le nom de *cristaux*, à cause de leur transparence, et par la même raison on a nommé *cristallisation* l'opération dans laquelle on voit souvent se former des polyèdres réguliers. Il est bon de remarquer que l'art peut donner à tous les corps solides des formes régulières absolument arbitraires et pouvant imiter les polyèdres naturels. Il ne doit être question ici que des figures régulières produites par les seules forces de la nature.

Quand on observe un polyèdre régulier, naturel, quelle que soit sa figure, on remarque que ses arêtes sont rectilignes et très-vives, que ses faces sont planes et le plus souvent parfaitement polies. On observe encore que si ce corps vient à être brisé par un choc, il en résulte un certain nombre de fragmens plus ou moins réguliers. Il est même facile de remarquer que la fracture est beaucoup plus facile dans certaines directions que dans d'autres; mais si au lieu de briser le corps

on essaie d'en enlever méthodiquement des parties quelconques, à l'aide d'un instrument tranchant par exemple, on voit que dans certain sens il est facile d'enlever une lame toute entière de la substance, et que dans d'autres directions cette espèce de dissection est tout-à-fait impossible; d'où l'on doit conclure qu'indépendamment de la forme régulière générale du cristal, il y a aussi un arrangement régulier de ses particules intérieures, en sorte qu'elles paraissent s'être appliquées les unes sur les autres, couches par couches, dans certaines directions particulières, et suivant des lois qui doivent être constantes, puisque les mêmes substances se présentent toujours avec les mêmes formes régulières. On nomme *division mécanique* l'opération par laquelle on dissèque ainsi les cristaux; on nomme *cristallographie* la science qui s'occupe de ces formes diverses, et des lois suivant lesquelles elles prennent naissance.

L'étude des lois de la cristallisation emportant la nécessité d'étudier les cristaux pendant et après leur formation, toutes les fois que la chose est possible, il est nécessaire d'indiquer les circonstances dans lesquelles ces cristaux peuvent prendre naissance.

86. On trouve dans la nature un grand nombre de cristaux tout formés, sans qu'il nous soit possible de dire exactement quelles ont été les circonstances de leur formation; mais il est aussi beaucoup de corps dont nous pouvons produire

artificiellement la cristallisation. On peut dire en général que la cristallisation a lieu toutes les fois que les particules destinées à former un solide, étant d'abord écartées les unes des autres, sont ensuite parfaitement libres de se réunir lentement et suivant les lois naturelles, sans qu'aucune action mécanique étrangère vienne déranger l'influence de ces lois. On connaît trois moyens généraux de donner lieu à ces circonstances nécessaires : l'un est la dissolution ; l'autre, la volatilisation ; le troisième, la fusion.

Si l'on prend un corps solide, comme du sulfate de soude, et qu'on le traite par l'eau, en élevant la température, le corps solide partagera bientôt l'état liquide de l'eau ; c'est ce que l'on nomme *dissolution*. Dans cette opération, la force de cohésion des particules du corps solide se trouve vaincue par leur attraction pour les particules du liquide, et l'on conçoit que dans cet etat toutes les molécules du solide deviennent, comme celles de l'eau, capables de se mouvoir librement les unes autour des autres. Pour opérer la dissolution d'un solide dans l'eau, il est nécessaire d'employer une certaine quantité de ce liquide, qui varie suivant les corps ; il arrive même souvent qu'une même quantité d'eau dissout une beaucoup plus grande quantité du corps solide, quand elle est chaude que quand elle est froide. Lorsque l'eau froide ou chaude contient autant du corps solide qu'elle en peut dissoudre, on dit que la

dissolution est *saturée* à froid ou *saturée* à chaud. Dans cet état de choses, si l'on venait à soustraire tout-à-coup l'eau qui tient le solide en dissolution, ou la chaleur qui augmente la solubilité, on conçoit que toutes les particules du corps dissous redeviendraient subitement solides, et pourraient s'amonceler irrégulièrement; mais si le liquide est enlevé peu-à-peu par une évaporation lente, ou si le refroidissement a lieu successivement, et si d'ailleurs le liquide est maintenu dans un repos parfait, les particules du corps dissous reprendront l'état solide, en quelque sorte, les unes après les autres; et comme dans le liquide elles peuvent se mouvoir indifféremment dans toutes les directions, elles viendront se ranger régulièrement les unes à côté des autres, suivant certaines lois que l'observation et le calcul ont fait connaître, et il en résultera des cristaux réguliers.

Si un corps solide, comme le soufre, par exemple, a été pénétré d'une assez grande quantité de calorique, pour que ses molécules se soient écartées jusqu'à former une vapeur, et qu'ensuite on enlève peu-à-peu le calorique à cette vapeur, en la mettant en contact avec des corps froids, les particules du corps solide se déposeront, comme dans le cas précédent, et l'on pourra obtenir des solides réguliers. Ce mode particulier d'opérer prend le nom de *sublimation*.

Si l'on se contente de pénétrer un corps solide, comme le bismuth, par exemple, d'une assez

grande quantité de calorique pour le rendre liquide, et qu'on le laisse ensuite refroidir très-lentement, les particules de la matière pourront encore s'arranger régulièrement dans le moment du passage de l'état liquide à l'état solide; mais comme, après le refroidissement, la totalité de la matière ne formera qu'une seule masse solide, il sera difficile d'y reconnaître la forme particulière des cristaux. Pour éviter cet inconvénient, on saisit le moment où la masse n'est encore solide qu'à son extérieur ; on perce la croûte dans un point quelconque, et l'on fait écouler par cette ouverture la partie du corps qui n'a point encore pris la forme solide.

Dans les opérations que nous venons de décrire, il est évident que l'attraction que l'on doit nommer ici cohésion, joue le principal rôle dans la formation des cristaux, mais qu'elle ne saurait les produire à elle seule ; car elle peut bien rapprocher les particules des corps, de manière à en former des masses plus ou moins compactes ; mais on ne voit pas comment elle pourrait les arranger d'une manière particulière, qui paraît même quelquefois contraire à sa tendance habituelle, puisqu'elle devrait fournir des sphères ou des sphéroïdes, tandis qu'il se produit souvent des aiguilles de formes très-allongées, ou d'autres figures analogues.

Deux choses paraissent concourir avec l'attraction à la production des polyèdres réguliers qu'on

nomme *cristaux* : 1°. la forme géométrique *primitive* des particules de la matière ; 2°. une certaine tendance des molécules à se réunir en nombres déterminés.

DES FORMES PRIMITIVES.

87. Les corps cristallisés que nous connaissons présentent des formes régulières différentes pour chaque substance, et en outre chacune de ces substances peut se présenter sous un grand nombre de formes différentes. Il semblerait donc non-seulement que les molécules primitives de chaque corps eussent des formes diverses, mais même que chaque substance pût en avoir plusieurs. Le carbonate de chaux en offrirait plusieurs centaines ; mais si l'on prend un cristal de carbonate de chaux présentant, par exemple, un prisme hexaèdre régulier, et si l'on essaie d'enlever une partie de sa substance par la dissection mécanique, on trouve que des six arêtes que présente l'une de ses bases, il y en a trois dont on peut enlever une portion de substance, de manière à les tronquer et à en former de petites facettes. Si l'on fait le même essai sur l'autre base, on trouve aussi trois arêtes qui se laissent disséquer. Mais ce sont précisément les arêtes opposées à celles qui, dans la première base, se sont prêtées à cette opération. Si l'on continue à enlever sur chaque facette une lame de la substance du prisme, jusqu'à ce que les six

faces du prisme aient complètement disparu, il restera un rhomboïde qui formait en quelque sorte le noyau du prisme.

Quel que soit le cristal de carbonate de chaux qu'on aura examiné, il se réduira toujours à cette forme de rhomboïde, pourvu que l'on cherche et que l'on découvre le sens dans lequel il sera possible de le disséquer pour le ramener à la forme commune.

Si l'on fait subir des opérations semblables à des cristaux d'une autre substance que le carbonate de chaux, on arrivera à un résultat analogue, c'est-à-dire que dans tous les cristaux variés de cette substance on retrouvera une forme régulière qui sera la même pour tous. On donne le nom de *forme primitive* à ces cristaux qui se trouvent constamment inscrits dans tous ceux d'une même substance, et l'on nomme *forme secondaire* toutes les variétés de cristallisation que la substance peut offrir indépendamment de sa forme primitive.

Ce qu'il y a de plus remarquable dans le rapport des formes secondaires avec les formes primitives, c'est qu'il peut arriver que les unes imitent les autres. C'est ainsi que la forme primitive de la chaux carbonatée étant un rhomboïde obtus, dont le grand angle est de 101°32′15″, l'une de ses formes secondaires est aussi un rhomboïde; mais celui-ci est aigu, l'angle de son sommet est de 60° 51′ 20″ : on peut le disséquer comme tout autre cristal secondaire, et l'on trouve dans son

intérieur le véritable rhomboïde primitif disposé de manière que ses faces sont parallèles aux arêtes du rhomboïde secondaire. Depuis les savantes recherches qui ont été poussées avec tant de zèle et d'exactitude par nos savans cristallographes, et surtout par Haüy, on n'a reconnu dans tous les cristaux que cinq formes primitives distinctes, savoir : le tétraèdre, le parallélipipède, l'octaèdre, le prisme hexaèdre et le dodécaèdre. Il faut seulement remarquer que sous le même nom plusieurs de ces figures peuvent présenter beaucoup de variétés. Le parallélipipède peut être rhomboïdal, cubique, etc. ; l'octaèdre peut être formé de toute sorte de triangles, etc.

DES MOLÉCULES INTÉGRANTES.

88. La dissection des cristaux donnant pour chaque espèce un noyau d'une figure déterminée, que nous avons nommée forme primitive, nous avons dû nous arrêter à cette forme, comme présentant, pour chaque substance différente, une sorte de point fixe qui peut servir à la reconnaître, et de laquelle on peut partir pour expliquer les nombreuses variétés que la nature ou l'art produisent ; mais il s'en faut de beaucoup que la dissection possible d'un cristal s'arrête au moment où l'on a obtenu le noyau ou la forme primitive. Ce noyau est lui-même formé de parties qui peuvent se séparer dans certain sens déterminé, et

quand on pousse l'opération jusqu'au dernier point, et même par la pensée jusqu'aux plus petites molécules du corps composé, sans toutefois désunir ses élémens chimiques, on peut obtenir des formes semblables à celles du noyau, ou différentes, suivant les circonstances. Supposons, par exemple, que le noyau soit le rhomboïde de la chaux carbonatée : il est susceptible de division parallèlement à toutes ses faces ; en enlevant donc successivement une couche de chaque face, tant qu'on pourra le faire mécaniquement, et en constituant l'opération par la pensée jusqu'à la plus petite particule, il restera toujours un rhomboïde ; et comme l'opération peut se faire sur tout un cristal à la fois, ou sur tous les fragmens d'un cristal, il en résulte que toutes les particules de la chaux carbonatée présentent la forme d'un rhomboïde. C'est à ces dernières particules qu'on donne le nom de *molécules intégrantes*, les distinguant par-là des molécules d'acide carbonique et de chaux qui, dans le cas supposé, sont les *molécules constituantes* de la matière examinée. On voit que le cas où la molécule intégrante est semblable au noyau, ne peut arriver que pour les solides dont toutes les faces sont parallèles deux à deux, et qui ne se laissent diviser que dans le sens de ces faces.

Il est des formes primitives dans lesquelles il n'y a point de parallélisme entre les faces correspondantes, et qui ne se laissent diviser que pa-

rallèlement à ces faces : tel est, par exemple, le dodécaèdre à plans rhombes. Dans ce cas la molécule intégrante ne pourra pas avoir la même forme que le noyau, et l'on démontre qu'elle se réduit à des tétraèdres.

Il arrive quelquefois que la forme primitive est susceptible de divisions parallèles à ses faces, et en même-temps d'un autre mode de division suivant une direction particulière à travers le cristal. C'est le cas de certaines formes primitives offrant le prisme droit rhomboïdal, et l'on démontre alors que la molécule intégrante est un prisme triangulaire.

Enfin quelques formes primitives offrent, en apparence, pour résultat de leurs divisions, deux molécules intégrantes différentes, mais qui peuvent se réduire au tétraèdre.

Il résulte de ce que nous venons de dire, que les molécules intégrantes des cristaux se réduisent précisément aux trois formes les plus simples suivant lesquelles la matière puisse être renfermée par des plans, savoir : le tétraèdre, qui est terminé par quatre plans ; le prisme triangulaire, qui est terminé par cinq plans ; et le prisme quadrangulaire, qui est terminé par six plans. Ce résultat, découvert par l'expérience, et confirmé par le calcul, offre un des plus beaux exemples de la simplicité qu'offrent les lois de la nature, quand le génie de l'homme est réellement parvenu à les découvrir.

Il est essentiel de remarquer ici, comme nous

l'avons fait pour les formes primitives, que les trois formes de molécules intégrantes sont susceptibles d'une variété infinie, dépendante des inclinaisons variées que leurs faces peuvent présenter les unes par rapport aux autres; que ces angles sont parfaitement constans dans les mêmes substances, et forment certainement le caractère le plus certain auquel on puisse les reconnaître, quand il est permis de l'observer; aussi fait-il la base de la classification minéralogique d'Haüy. Il est encore nécessaire de faire observer que le mélange d'une certaine quantité d'un corps étranger à la nature du cristal, et même les proportions variées d'un de ses élémens, n'altèrent en rien la forme exacte de sa molécule intégrante, qui constitue, ainsi que l'a dit Haüy, *comme un point fixe autour duquel tout le reste semble osciller.*

DES LOIS QUI PRÉSIDENT A LA FORMATION DES CRISTAUX.

89. Après avoir indiqué les figures constantes des formes primitives et des molécules intégrantes, il restait, pour faire de la cristallographie une science, à rechercher suivant quelles lois les molécules intégrantes pouvaient se réunir et s'arranger pour produire non-seulement la forme primitive, mais encore toutes les variétés possibles des formes cristallines d'une substance donnée. C'est ce qu'a fait Haüy avec un succès si remarquable, nous nous contenterons de donner ici un exposé des bases de son système.

Si l'on se représente un cristal quelconque, divisible parallèlement à ses faces, on concevra que chaque lame enlevée successivement sur chaque face, sera plus petite que la précédente et plus grande que la suivante ; cette diminution et cette augmentation ne sauraient être attribuées qu'à la soustraction ou à l'addition d'une ou plusieurs rangées de molécules intégrantes sur chacun des côtés de ces faces, circonstance à laquelle on a donné le nom de *décroissement* ; mais on conçoit que ce décroissement peut avoir lieu à-la-fois sur tous les bords de la lame, sur certains bords et point sur les autres, qu'il peut être d'une seule rangée de molécules d'une lame à une autre, ou de deux ou plusieurs rangées à la fois. On observe même des décroissemens qui ont lieu dans une surface carrée, parallèlement à la diagonale, ensorte qu'il peut y avoir des décroissemens sur les bords et des décroissemens sur les angles ; en admettant ces suppositions, qui paraissent très-naturelles, on pourra poser ainsi le problème général de la cristallisation :

Etant donné un cristal secondaire, la figure de son noyau, la forme de ses molécules intégrantes, déterminer suivant quelles lois de décroissement, soit sur les bords, soit sur les angles de ses différentes faces, la forme composée peut se produire sur le noyau par l'addition de couches de molécules intégrantes.

Si, comme cela arrive en effet, un semblable problème peut toujours être résolu par le calcul,

il en résultera que le fait du décroissement et ses lois sont des choses démontrées.

DÉCROISSEMENT SUR LES BORDS.

90. Pour se faire une idée du décroissement, parallèlement aux bords des surfaces, on peut se représenter (*fig.* 15) un cube sur chacune des faces duquel s'appliqueraient des couches successives de nouvelles molécules ; ces molécules nouvelles doivent être cubiques comme celles qui composent le gros cube lui-même. Supposons donc que sur l'une des faces il se dépose une couche de petits cubes, en sorte qu'il en manque une rangée seulement sur chacun des bords ; que sur cette première couche il s'en dépose une seconde à laquelle il manque encore une rangée de petits cubes sur chaque bord, et ainsi de suite : il est évident qu'on arrivera à n'avoir plus, dans la dernière couche, qu'un seul petit cube, et que toutes les couches superposées formeront une pyramide quadrangulaire. Si la même chose est arrivée à chacune des faces du cube, il se trouvera transformé en un dodécaèdre à plans rhombes qui sera une forme secondaire de la forme cubique primitive. Ce dodécaèdre sera divisible par ses angles, parallèlement aux faces du cube que l'on mettra à découvert, en en séparant six pyramides quadrangulaires qui recouvraient ces faces.

La figure qui représente ce décroissement étant

grossièrement tracée pour rendre l'image sensible, présente des faces crénelées et des sommets offrant une surface sensible ; mais on conçoit que s'il est question des véritables molécules intégrantes des corps, elles seront si petites, et les couches si nombreuses, que les surfaces paraîtront polies et les sommets aigus.

Le décroissement que nous venons de décrire s'est fait par une seule rangée, parallèlement à tous les bords du noyau cubique. Il produit un dodécaèdre tel que les angles obtus des rhombes sont de 109°28′16″, et que l'angle formé par deux rhombes entre eux est de 120°.

On conçoit que nous venons de produire un dodécaèdre, parce que les faces des pyramides se trouvent inclinées de 45° sur leurs bases, ce qui dépend de ce qu'il y a eu une rangée de moins pour une lame superposée ; mais on conçoit que si les décroissemens avaient été plus rapides, de deux rangées de molécules par lame, par exemple, les pyramides seraient surbaissées, leurs triangles correspondans ne se trouveraient plus dans le même plan, et l'on aurait un solide à vingt-quatre faces triangulaires.

Il peut arriver aussi que l'épaisseur des lames soit de deux ou plusieurs molécules, lorsque le décroissement n'est que d'une seule rangée, et alors la hauteur de la pyramide se trouvera augmentée. C'est ce qu'on a nommé *décroissement en largeur*, et *décroissement en hauteur*.

On concevra avec la même facilité, que les décroissemens aient lieu sur deux des côtés seulement de la face du cube, ou bien sur deux de ses côtés, suivant une loi, et sur les deux autres suivant une loi différente; ce qui produira déjà un très-grand nombre de variétés possibles.

DÉCROISSEMENT SUR LES ANGLES.

91. Si l'on conçoit une surface carrée *o i i' o'*, divisée en petits carrés représentant les bases des molécules intégrantes, on voit que non-seulement ces molécules sont rangées en ligne suivant la direction des côtés, mais qu'elles le sont encore suivant la direction des diagonales; seulement, dans ce dernier cas, les molécules ne se touchent que par leurs arêtes. On peut donc concevoir un décroissement qui consiste en ce qu'à la première couche la seule molécule *i* vienne à manquer, tandis qu'à la seconde couche les molécules *s*, *s'* manqueraient, et ainsi de suite; c'est ce qu'on nomme *décroissement par les angles*; et l'on conçoit que les faces qui pourront se produire par ce mode ne présenteront plus seulement des rainures, comme dans le cas de décroissement par les côtés, mais une multitude de saillies produites par les angles des molécules intégrantes.

Si l'on combine par la pensée les différens genres de décroissemens que nous avons indiqués, et que l'on se représente en outre que pendant ces

décroissemens il peut arriver que les autres parties du cristal grossissent uniformément dans toutes les directions; on aura une idée de la manière dont peuvent se produire toutes les formes secondaires que l'on nomme *simples*.

Mais il y a une dernière circonstance qui peut donner lieu à des formes complexes très-variées; en effet, nous avons supposé, dans notre premier exemple, que le décroissement sur chacune des faces du cube était porté jusqu'à son terme, pour produire les sommets des pyramides; mais il peut arriver que le décroissement s'arrête avant que la pyramide soit complète, alors les sommets seront remplacés par autant de faces, et la forme générale du solide sera entièrement changée.

Telles sont les bases sur lesquelles est fondée la science de la *Cristallographie*. Voyez le *Traité de Haüy*.

POROSITÉ DANS LES CORPS SOLIDES.

Nous avons traité (9) de la porosité d'une manière générale; nous avons vu qu'elle tenait à un écartement sensible, et peut-être même très-considérable, qui se trouve toujours entre les particules d'un corps. Cette propriété ne doit pas être regardée comme essentielle à la matière proprement dite, puisqu'elle dépend plutôt de l'arrangement de ses particules que de leur nature intime. Elle n'est jamais plus apparente et plus facile à prouver que dans les corps solides. Nous avons

vu que la peau se laissait pénétrer par le mercure, et que l'hydrophane se laissait pénétrer par l'eau ; mais il est une foule d'autres exemples qu'on peut apporter en preuve de la porosité des corps solides. Ainsi certaines pierres poreuses laissent suinter l'eau à travers leur épaisseur, en arrêtant tous les corps qu'elle peut tenir en suspension. On s'en sert pour construire des fontaines filtrantes.

Les métaux eux-mêmes sont poreux d'une manière très-sensible, puisque les Académiciens de Florence ont vu suinter l'eau à travers les parois d'une boule d'or fortement comprimée. La fonte de fer est même tellement poreuse, qu'on n'a pas pu l'employer à la construction des presses hydrauliques, et qu'il a fallu doubler le corps de pompe en cuivre, parce que l'eau comprimée passait à travers le métal.

Il est pourtant des corps solides dans lesquels la porosité ne peut être démontrée de la même manière : tel est le verre, par exemple, qui ne laisse passer ou transsuder aucun liquide ni fluide élastique ; mais il reste, pour preuve de la réalité de l'existence de ses pores, la condensation qu'il éprouve lorsqu'on abaisse sa température.

93. La porosité des solides présente un phénomène général, qui est connu sous le nom d'*imbibition*, et qui consiste en ce que les particules d'un liquide s'introduisent dans les pores d'un corps solide pour y rester plus ou moins fixées. Cette propriété est susceptible de modifications remar-

quables, qui ne paraissent point tenir à la grandeur des pores du corps qui s'imbibe, ni à la petitesse des particules du fluide qui le pénètre, mais plutôt à une sorte d'affinité réciproque des deux corps. Ainsi l'or, qui ne s'imbibe d'aucun autre fluide, s'imbibe rapidement de mercure; le marbre, qui n'absorbe point l'eau, absorbe aisément l'huile; toutes les substances organiques, telles que le bois, les cordes de chanvre, les cordes à boyau, etc., s'imbibent d'eau avec une grande facilité.

Lorsque les corps solides qui se pénètrent d'un liquide ont une grande densité, ils n'augmentent point de volume par cette imbibition. Mais lorsque ces corps ont une faible densité, et surtout lorsqu'ils offrent un tissu organique, ils peuvent augmenter considérablement de volume, dans certain sens ou dans tous à la fois, en absorbant un liquide.

Le bois se gonfle, transversalement à la longueur de ses fibres, d'une quantité si considérable, que toutes les douves d'un tonneau peuvent être à jour quand il est sec, et se trouver parfaitement jointes et fortement serrées lorsque le bois est humide.

D'autres substances organiques se gonflent suivant leur longueur, c'est-à-dire s'alongent; tels sont les cheveux et les cordes à boyau. Les cordes de chanvre qui sont tordues, et dont les fibres sont disposées en spirales, augmentent de diamètre et se raccourcissent lorsqu'elles s'imbibent d'eau. Les tissus laminaires présentent des phéno-

mènes opposés, lorsqu'ils sont seulement formés de fibres droites feutrées, ou lorsqu'ils sont formés de fibres tordues. Ainsi, une feuille de papier, qui est composée de petites fibres de corps ligneux qui n'ont point été tordues, s'alonge dans tous les sens quand on la mouille; c'est même le moyen qu'on emploie pour tendre le papier, en fixant ses bords dans le moment où la feuille humide occupe plus d'étendue que dans son état naturel. Cet effet est si prononcé, qu'en mouillant un des côtés d'une feuille de papier, cette face s'agrandit pendant que l'autre conserve ses dimensions, et la feuille se courbe sur elle-même. Et comme ces corps conservent toujours plus ou moins d'humidité, la même chose arrive quand on sèche un des côtés de la feuille de papier.

Quant aux tissus qui sont formés de fibres tordues, comme les toiles par exemple, ils se raccourcissent dans tous les sens, lorsqu'on les mouille pour la première fois. Mais comme il y a de grands frottemens dans les torsions multipliées des fibres, ces tissus ne reviennent pas en séchant à leur étendue première, et les toiles finissent par ne plus se raccourcir lorsqu'on les mouille. On observe encore que la toile usée, qui n'a plus de torsions bien prononcées dans ses fibres, s'alonge lorsqu'on la mouille et se resserre en séchant.

Les effets dont nous venons de parler reçoivent dans les arts une foule d'applications importantes. On courbe une pièce de bois en la chauffant d'un

côté pendant qu'on la mouille de l'autre. Dans l'opération du placage, qui consiste à appliquer une couche mince d'un bois précieux sur un autre bois plus commun, à l'aide de la colle forte, il est nécessaire de mettre de la colle sur les deux faces du placage, sans quoi ces feuilles minces se courberaient et se releveraient par leurs bords. On peut graver en relief sur le bois par une méthode qui dépend de ces principes : on enfonce d'abord avec des poinçons toutes les parties du bois que l'on veut obtenir en saillie; on enlève ensuite avec un rabot tout le reste de la surface, jusqu'à ce qu'elle soit au niveau des enfoncemens; alors on plonge la planche dans l'eau : mais toutes les parties qui avaient été comprimées par les poinçons, revenant à leurs volumes primitifs, forment les saillies désirées.

Nous avons dit que l'imbibition paraissait dépendre d'une sorte d'affinité ou attraction moléculaire entre les particules du corps solide et celles du corps imbibé; et l'on observe, en effet, que la puissance avec laquelle les liquides sont attirés et fixés dans les pores des corps solides est souvent énorme, et supérieure à toute action mécanique qu'on chercherait à lui opposer. Par exemple, l'argile exerce une affinité puissante sur l'eau; elle s'en imbibe, s'en pénètre, et forme une masse pâteuse, à travers laquelle il est impossible de faire pénétrer une nouvelle quantité d'eau, quelle que soit la pression qu'on emploie; ce qui prouve que

la première quantité de ce liquide qui a pénétré l'argile, s'y trouve retenue avec une très-grande force. Un exemple encore plus frappant de la puissance de l'imbibition, résulte de la méthode employée dans quelques carrières pour diviser des meules de moulin ou des blocs de pierre quelconques. On fait, à coups de ciseau, une petite raînure dans toute la circonférence de la masse que l'on veut séparer, et l'on chasse dans cette raînure, à coups de marteau, une grande quantité de petits coins de bois séchés au feu; il suffit ensuite de mouiller ces coins de bois, pour que leur force de dilatation divise la masse de pierre, dont la cohésion totale présente cependant une résistance de plusieurs milliards de kilogrammes.

L'histoire *banale* de Zapaglia prouve encore avec quelle force les cordes mouillées se raccourcissent.

L'attraction que les corps solides exercent ainsi sur les fluides qui les environnent, et les changemens de dimension qu'ils éprouvent en s'en imbibant, servent de base à l'art de l'*hygrométrie*, dont nous parlerons au Chapitre de l'*Air*.

DE LA MOBILITÉ DANS LES CORPS SOLIDES.

94. Cette propriété générale de la matière appartient aux corps solides comme à tous les autres ; mais elle présente des modifications qui dépendent de leur état. En effet, il y a quatre genres de mouve-

mens possibles pour un corps solide : 1°. un mouvement de translation totale dans lequel les molécules ne changent pas de rapports ; dans ce mouvement les molécules se suivent nécessairement les unes les autres, et forment une masse commune, en sorte que, tout mouvement communiqué à l'une quelconque de ces molécules, est nécessairement partagé entre toutes les autres ; 2°. un mouvement de rotation autour d'un axe ; 3°. un mouvement général de rapprochement ou d'écartement de ces molécules, que l'on nomme dilatation ou condensation, et qui dépend du calorique ; celui-ci est très-borné dans les corps solides, attendu la grande influence de l'attraction dans ces sortes de corps ; 4°. un mouvement particulier d'agitation des molécules, que l'on connaît sous le nom de *vibration*, et qui est d'autant plus rapide dans les corps solides que leurs parties sont retenues en place par des puissances plus énergiques. La première et la seconde espèce seront examinées en traitant du mouvement des corps solides, la troisième en parlant de l'action de la force répulsive sur leurs molécules, et la quatrième à la fin de ce livre, comme le sujet le plus difficile et le moins connu de leur histoire.

DE LA DIVISIBILITÉ DANS LES CORPS SOLIDES.

95. Tout ce que nous avons dit de général sur cette propriété de la matière (16), s'applique aux corps solides, et nous les avons à cette occasion

souvent cités pour exemple; il nous reste seulement à remarquer que la division de ces corps exige une puissance proportionnée à leur cohésion. Cette division offre pourtant une circonstance remarquable, savoir : qu'un corps solide que l'on divise, tout en conservant son caractère de solidité jusque dans ses plus petites particules, le perd relativement à la masse primitive ; il se change en une *poudre* ou *poussière*, suivant les expressions reçues; et quoique les particules de cette poudre se touchent ou paraissent se toucher, elles ne tiennent plus les unes aux autres et forment, non plus un solide comme auparavant, mais seulement un *amas*, comme on le voit pour le sable comparé à une masse de grès.

Rien n'est plus propre que cette considération à faire voir combien il y a loin des parties qui peuvent résulter d'une division mécanique, aux véritables atômes des corps. En effet, quelque fine que soit la poudre de soufre, elle ne ressemble en rien à un liquide, tandis qu'un peu de calorique suffit pour liquéfier cette même matière.

DE L'IMPÉNÉTRABILITÉ DANS LES CORPS SOLIDES.

96. Cette propriété (19) n'est jamais plus apparente et plus sensible que dans les corps solides. Un marteau n'enfonce un clou que par suite de son impénétrabilité; une bille n'en chasse une autre que parce que les deux billes ne sauraient occuper la même place; mais on se tromperait

beaucoup si l'on croyait que cette propriété se bornât à cette impénétrabilité de masse, car celle-ci ne tient qu'à une circonstance particulière que l'on nomme *dureté*. En effet, si le clou n'entre pas dans le marteau, il entre dans le bois; et si la bille était molle, l'autre la pénétrerait plus ou moins : il faut donc bien entendre que l'impénétrabilité appartient plutôt à la matière même, ou aux dernières particules des corps, qu'à ces corps mêmes, en tant qu'ils présentent un certain volume. En effet, si les corps solides en masse sont impénétrables les uns pour les autres, il n'en est pas de même pour les liquides, pour les gaz et pour les fluides impondérables; ce qui tient à leur porosité (92) : si l'on mouille un morceau de sucre, l'eau est promptement absorbée, le sucre devient et plus dur et plus pesant; mais il est facile de se représenter que l'eau ne pénètre que dans les vides ou les pores du sucre, en sorte que le morceau de sucre est *pénétrable*, quoique les molécules du sucre soient *impénétrables*.

CHAPITRE II.

DE L'ATTRACTION DANS LES CORPS SOLIDES.

97. L'ATTRACTION considérée en général, s'exerce entre les corps solides suivant les lois que nous avons exposées (59), et sans que leur état particulier d'agrégation paraisse influer en rien sur des phénomènes qui se passent dans un grand éloignement réciproque du corps en action. Ainsi la partie liquide du globe terrestre et les fluides aériformes qui l'entourent, éprouvent l'attraction solaire et concourent à produire celle qui retient la lune dans son orbite, comme les parties solides de ce même globe. La similitude est telle, que les planètes pourraient être entièrement liquides, sans que le système céleste fût changé, et qu'on a pu même supposer que les comètes étaient exclusivement formées de vapeurs.

Il n'en est pas de même dans les phénomènes d'attraction qui se passent à de très-petites distances, ou au contact des corps; car alors la forme et la consistance de ces corps peuvent influer considérablement sur les phénomènes. C'est pourquoi il devient nécessaire d'étudier spécialement dans les corps solides, le *poids*, l'*adhésion*, et la *cohésion*, avec toutes leurs circonstances.

DU POIDS DANS LES CORPS SOLIDES.

98. Nous avons distingué (68), (69), le *poids absolu* du *poids spécifique*. Le poids absolu des corps solides résulte, comme nous l'avons dit en général, de la somme des puissances de pesanteur agissant sur toutes les particules matérielles qui composent le corps. Nous avons seulement ici à remarquer que dans un corps solide où toutes les particules sont liées les unes aux autres, les différentes forces qui animent les particules ne sauraient agir les unes sans les autres ; en sorte qu'une résistance appliquée à un certain nombre de ces particules, ou même à une seule, reçoit la somme d'action de toutes les particules, et les arrête toutes comme si chacune d'elles était combattue à part. C'est ainsi qu'une masse de plomb peut être suspendue par un fil attaché à l'un des points de cette masse. *La somme des forces de la pesanteur, ou le poids du corps*, s'exerce alors sur ce seul fil et par l'entremise d'un seul point, attendu que toutes les particules étant liées entre elles, ne peuvent se mouvoir indépendamment de la particule unique qui est fixée. Par la même raison, si l'on suppose un parallélipipède solide qui repose sur une de ses grandes faces, la somme du poids sera répartie entre les différens points de cette face ; et si l'on vient à le poser sur une face moitié plus petite, la somme du poids répartie dans une étendue moitié

moindre, sera d'autant plus forte sur chaque point ; d'où il résulte que quand un corps solide repose sur un plan, la pression produite par le poids sur chacun des points de la base, est en raison inverse de l'étendue de cette base.

Les corps solides, et surtout les métaux, présentant une assez grande résistance à leur destruction, conservant la figure qu'on leur donne, et présentant un grand poids sous un petit volume, c'est avec eux que l'on construit les *poids* proprement dits, ou les corps pesans qui servent d'objet de comparaison pour les autres corps.

DU POIDS SPÉCIFIQUE DES SOLIDES.

99. Ce que nous avons dit (69) du *poids spécifique* s'applique exactement aux corps solides en particulier, et nous savons que, pour ces sortes de corps, on a choisi l'eau pour point de comparaison ; mais les méthodes à l'aide desquelles on obtient le poids spécifique des corps solides leur sont particulières.

On conçoit que si l'on taillait avec beaucoup d'exactitude des cubes parfaitement semblables de tous les corps solides, dont on veut reconnaître le poids spécifique, et qu'on les pesât exactement, on obtiendrait des poids différens pour chacun, et qu'en comparant ces poids avec celui d'un cube d'eau semblable, on aurait le poids spécifique rapporté à celui de l'eau.

Cette méthode est extrêmement difficile d'exécution, et souvent même tout-à-fait impossible; mais il existe un autre moyen de trouver le poids exact d'un certain volume d'eau parfaitement égal au volume d'un corps donné, et ce moyen n'exige pas que l'on donne au corps solide une forme régulière, ni même que l'on change celle qu'il présente naturellement.

Si l'on prend un flacon bouché à l'émeril, qu'on le remplisse d'eau très-exactement, et qu'on replace son bouchon ; si l'on pèse exactement et ensemble ce flacon ainsi rempli, et le corps solide dont on veut connaître le poids spécifique; si l'on ouvre ensuite le flacon, et qu'on y introduise le corps solide, il en fera sortir une certaine quantité d'eau; et si l'on replace le bouchon, et que l'on sèche convenablement l'extérieur du flacon, il est évident qu'il y aura dans ce flacon moins d'eau qu'il n'y en avait, et que cette quantité d'eau soustraite aura un volume précisément égal à celui du corps solide qui l'a déplacée. Si donc on pèse de nouveau le flacon, on le trouvera plus léger que précédemment d'un poids qui sera exactement celui d'un volume d'eau égal au volume du corps solide. Par exemple, s'il était question d'un morceau d'or, si le flacon plein d'eau et le morceau d'or pesaient 78 grammes; si le morceau d'or pesait 19 grammes, si le flacon, après y avoir introduit le morceau d'or, ne pesait plus que 77 grammes, on dirait qu'un volume d'eau pesant 1,

et le même volume d'or pesant 19, le poids spécifique de l'or est 19, celui de l'eau étant pris pour unité. Nous avons choisi, dans cet exemple, des nombres qui représentent exactement le rapport du poids de l'or à celui de l'eau pris pour unité, c'est-à-dire que nous avons supposé une masse d'or d'un même volume qu'un gramme d'eau; mais dans les expériences un semblable cas ne se présente jamais exactement, en sorte qu'il est nécessaire d'établir une proportion pour ramener le poids trouvé pour l'eau à l'unité. En nommant p le poids du volume d'eau, p' le poids du corps, en supposant 1 le point de comparaison, et nommant x le poids spécifique cherché, on a $p : p' :: 1 : x$, qui donne $x = \frac{p'}{p}$; c'est-à-dire qu'il faut, pour obtenir le poids spécifique du corps solide rapporté à celui de l'eau comme unité, diviser le poids du corps par le poids du volume d'eau déplacé; supposant donc que dans l'exemple précédent le poids du morceau d'or ait été 71gr,250, et le poids du volume d'eau déplacée 3gr,250, en divisant ces deux poids l'un par l'autre, on obtiendra encore le quotient 19, qui sera le poids spécifique de l'or, l'eau étant prise pour unité.

La méthode simple que nous venons de décrire n'est pas susceptible d'une grande exactitude, et d'ailleurs elle ne s'applique qu'aux corps qui peuvent être introduits dans un vase à petite ouver-

ture. Archimède en a imaginé une, beaucoup plus élégante et plus générale. On dit qu'étant chargé par le roi Hiéron, de déterminer si une couronne d'or d'un travail précieux contenait de l'alliage, sans toutefois détruire le travail, il chercha long-temps en vain la solution de ce problème; mais qu'un jour étant au bain, et réfléchissant sur la perte de poids que son propre corps éprouvait lorsqu'il était plongé dans l'eau, il conçut aussitôt l'application de ce principe, et s'écria : *Je l'ai trouvé !* En effet, lorsqu'un corps solide est pesé dans l'air, et qu'on essaie ensuite de le peser pendant qu'il est plongé dans l'eau, on trouve qu'il a perdu un poids précisément égal à celui du volume d'eau qu'il déplaçait, c'est-à-dire de son propre volume d'eau. Nous expliquerons, en parlant de l'équilibre des liquides, les raisons de ce phénomène. Voici l'application qu'on en a faite.

On suspend le corps solide au moyen d'un fil très-fin, sous le plateau d'une balance très-sensible. On place dans l'autre plateau les poids nécessaires pour lui faire exactement équilibre; ensuite, au moyen d'un mécanisme particulier, à l'aide duquel la balance peut descendre à volonté, on plonge le corps solide dans un vase plein d'eau placé au-dessous de lui; on trouve alors que la balance n'est plus en équilibre, et la quantité de poids qu'il faut ôter du plateau pour rétablir cet équilibre, donne le poids exact d'un volume

d'eau égal à celui du corps. Il ne reste plus qu'à diviser le poids du corps par le poids du volume d'eau, pour obtenir son poids spécifique.

L'or et le cuivre ayant des poids spécifiques différens, il est évident que les alliages de ces deux métaux doivent avoir des poids spécifiques intermédiaires, qui seront d'autant plus petits qu'il y aura plus de cuivre, et d'autant plus grands qu'il y aura moins de cuivre.

Archimède avait donc en effet trouvé le moyen de déterminer la composition de la couronne, sans la détruire, en la pesant successivement dans l'air et dans l'eau, après avoir fait les mêmes expériences sur le cuivre pur et sur de l'or pur. La balance qu'on emploie à ces sortes d'expériences porte le nom de *balance hydrostatique*.

Nous avons d'abord décrit cette méthode d'une manière générale; mais il y a quelques précautions à prendre pour obtenir des résultats exacts. 1°. Le corps pesé dans l'air déplace aussi un volume de ce fluide, et ce volume a un poids qui est très-petit, mais qui peut varier avec les températures et les pressions barométriques. Cette cause d'erreur est insensible. 2°. Les corps solides que l'on plonge dans l'eau retiennent presque toujours quelques bulles d'air adhérentes à leur surface. Il faut les en dégager avec beaucoup de soin. 3°. Enfin l'eau dont on fait usage n'a pas toujours le même poids spécifique. Pour avoir des résultats comparables, il faut employer de l'eau distillée et faire

les expériences toujours à la même température, ou du moins ramener par le calcul les résultats à ce qu'ils auraient été, par exemple à 0°, ce qu'on obtient facilement par des règles que nous établirons en parlant de la dilatation des liquides par la chaleur.

Malgré la commodité de la première méthode décrite, et l'exactitude de la seconde, il est encore un certain nombre de cas qui échappent à leur application.

Si le corps dont on cherche le poids spécifique est réduit en poudre, on pourra se servir de la méthode du flacon; mais d'une part on ne sera jamais sûr d'avoir expulsé tout l'air que les particules solides peuvent entraîner, et d'ailleurs le poids spécifique d'un corps en poudre peut être fort différent de celui du même corps en masse, attendu la porosité.

Si le corps est soluble dans l'eau, il sera impossible de le peser dans ce liquide, et il faudra en employer un autre, comme l'huile par exemple, dont on aura d'abord déterminé le poids spécifique. Beaucoup de corps solides peuvent renfermer dans leur masse des espaces vides inaperçus, qui s'opposent à l'exactitude des résultats.

Enfin il peut arriver que le corps solide dont on cherche le poids spécifique, soit plus léger qu'un pareil volume des liquides dont nous pouvons disposer. Tel serait, par exemple, un morceau de liége ou de moelle de sureau. Dans ce cas

on peut faire usage de la méthode du flacon, en forçant le corps à entrer dans l'eau par la pression du bouchon ; mais le célèbre physicien Charles a imaginé un moyen fort ingénieux, qui consiste à faire usage d'une espèce d'entonnoir renversé et percé de beaucoup de petits trous. Cet entonnoir ayant un grand poids spécifique, et étant suspendu au fléau de la balance, on détermine d'abord sa perte en poids lorsqu'il est plongé dans l'eau, et l'on s'en sert ensuite pour obliger les corps les plus légers à plonger dans ce liquide.

On conçoit que dans les exemples que nous venons de citer, p' est plus petit que p, c'est-à-dire que le poids du volume du corps est plus petit que le poids du même volume d'eau, d'où il suit qu'on obtient, par la proportion que nous avons indiquée, pour valeur de x, une fraction d'unité.

M. Hassenfratz a imaginé de mesurer le poids spécifique des corps solubles dans l'eau, des sels par exemple, en en faisant dissoudre des quantités connues dans des poids connus d'eau pure, et prenant le poids spécifique de la dissolution. Il a supposé que celui-ci devrait être une moyenne proportionnelle entre celui de l'eau et celui du sel; mais cette supposition n'est pas démontrée, car il est possible que l'affinité du sel pour l'eau modifie la densité de la dissolution. Ainsi il est difficile de compter sur les nombreux résultats qu'il a publiés dans les *Annales de Chimie*.

Nous donnons ici une table du poids spécifique de quelques corps solides.

TABLE DU POIDS SPÉCIFIQUE DES PRINCIPAUX CORPS SOLIDES.

Eau prise pour unité.	1,000.
Métaux.	
Cuivre jaune fondu, non forgé. .	8,396.
— fondu commun.	7,824.
Cuivre rouge non forgé.	7,788.
Or pur fondu, non forgé. . . .	19,258.
— forgé.	19,362.
— de Guinée.	17,629.
Fer fondu.	7,207.
Fer forgé.	8,778.
Acier non trempé ni durci. . . .	7,833.
— durci, mais non trempé. . .	7,840.
— trempé.	7,816.
Mine de fer prismatique..	7,355.
Plomb.	11,352.
Mine de plomb cubique..	7,587.
Mercure congelé.	15,682.
— liquide.	13,568.
Nickel ductile.	7,807.
Platine en grain.	15,602.
— purifié non forgé.	19,500.
— forgé.	20,337.
Argent pur non forgé.	10,477.

Argent pur forgé.	10,511.
— de Chilling.	10,534.
Etain pur de Cornouailles, non forgé.	7,291.
— durci.	7,299.
Zinc.	7,191.

Pierres dures.

Béril.	3,549.
Chrysolite des joailliers.	2,782.
Cristal de roche.	2,653.
Diamant.	3,521.
Emeraude.	2,775.
Grenat.	4,189.
Rubis.	4,283.
Saphyr.	3,994.
Spath fluor.	2,595.
Topaze.	4,011.
Agathe onyx.	2,638.
Silex.	2,594.
Jaspe.	2,816.
Opale.	2,114.
Perle.	2,684.

Minéraux divers.

Albâtre.	2,730.
Ambre jaune.	1,078.
Ambre gris.	0,926.
Basalte.	2,864.
Brique.	2,000.
Chaux.	2,784.

Chaux sulfatée.	2,168.
Verre vert.	2,642.
Verre blanc.	2,892.
Verre à bouteille.	2,733.
Granit égyptien.	2,654.
Pierre à rasoir.	2,876.
Pierre à chaux.	3,179.
Marbre.	2,742.
Porphyre.	2,765.
Pyrite.	4,954.
Terre argileuse.	2,672.
Bois.	
Chêne frais.	0,930.
Chêne sec.	1,670.
Hêtre.	0,852.
Prunier.	0,785.
Sapin.	0,550.
Ebène.	1,331.
Acajou.	1,063.
Peuplier.	0,383.
Liége.	0,240.

DE L'ADHÉSION ENTRE LES CORPS SOLIDES.

100. Nous avons vu (74) que les liquides et les solides étaient susceptibles d'*adhérer* par les surfaces, et que cet effet devait être attribué à l'attraction générale. Ce genre de phénomènes présente, dans les corps solides, des modifications qu'il importe de connaître.

Si l'on rapproche deux surfaces solides qui ne présentent qu'un poli grossier, il n'y aura jamais aucune adhérence sensible; et si le poli est plus parfait, l'adhérence commencera et deviendra d'autant plus forte que les surfaces se toucheront réellement par un plus grand nombre de points; mais on remarque qu'en approchant parallèlement deux surfaces polies, elles ne contractent point d'adhérence, tandis que celle-ci se développe si l'on presse fortement les deux surfaces, ou mieux encore si on les fait glisser l'une sur l'autre en les pressant. Cette différence tient à l'existence d'une petite couche d'air adhérente aux surfaces, qui s'oppose à leur contact, et qu'on expulse par la pression. Elle tient aussi à ce que les surfaces, n'étant jamais rigoureusement plancs, ne se touchent réellement dans tous leurs points que quand on les comprime.

On observe encore que si l'on mouille les deux surfaces, elles adhèrent immédiatement, mais avec une intensité médiocre et constante qui représente plutôt l'adhérence du liquide lui-même que celle des surfaces solides. Néanmoins, si les deux surfaces humides sont pressées, leur adhérence arrivera promptement à un *maximum*; 1°. parce que l'eau expulse immédiatement la couche d'air adhérente; 2°. parce que les molécules d'eau qui peuvent se loger entre les petites saillies que présente encore la surface solide la plus polie, rendent les points de contact plus nombreux.

L'adhérence une fois établie entre deux surfaces solides, on observe qu'elle augmente avec le temps, ce que l'on attribue à de légères oscillations des particules des corps solides, par suite desquelles les petites saillies pénètrent dans de petits enfoncemens opposés, ce qui multiplie encore les points de contact.

On n'observe d'adhérence sensible qu'entre des corps solides dont la densité est considérable, comme les métaux ou le verre, par exemple; mais on ne peut faire adhérer par simple rapprochement les corps poreux, comme le bois, le papier, le liége, etc. Cette difficulté a donné naissance à des artifices particuliers, pour déterminer à volonté des adhérences entre toutes sortes de corps : on emploie pour cela des substances intermédiaires qui portent le nom de *colles*.

On peut dire en général qu'une colle n'est autre chose qu'un corps actuellement liquide, qui pourra devenir solide, soit par l'évaporation de l'eau, soit par le simple refroidissement, soit enfin par l'imbibition. Cela posé, étant données deux surfaces de corps poreux que l'on veut réunir, on les couvre d'une couche de colle, et on les applique l'une sur l'autre; il se produit une première adhérence du même ordre que celle des surfaces solides mouillées; mais le liquide disparaissant peu-à-peu par une des causes que nous venons d'indiquer, les particules solides se rapprochent et finissent par adhérer très-fortement.

On doit se représenter la couche solide que la colle a laissée entre les deux corps, comme offrant sur ses deux faces le moule exact des nombreuses inégalités que présentent toujours les corps solides poreux, et c'est précisément cette disposition qui multiplie suffisamment les points de contact pour produire une adhérence énergique.

Si l'emploi de la colle a été accompagné d'une forte compression, comme il arrive dans le collage des bois avec la colle forte, l'intensité de l'adhérence peut excéder la ténacité de la colle elle-même ; car cette intensité se compose, 1°. de l'adhérence d'un certain nombre de particules du corps solide qui se trouveront réellement en contact ; 2°. de l'adhérence de la matière solide déposée par la colle, et qui remplira les intervalles que la porosité laisse entre les particules.

DE LA COHÉSION DANS LES CORPS SOLIDES.

101. Nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit (76) en général sur la cohésion ; et nous savons qu'elle consiste dans les corps solides en une modification de l'attraction qui s'oppose non-seulement à l'écartement de leurs particules, mais encore à leur changement de rapports entre elles ou à leurs déplacemens réciproques. Il nous reste à étudier les modifications particulières que présente la cohésion dans les corps solides, et que l'on regarde comme des propriétés particulières à

cette classe et plus ou moins prononcées dans les différentes espèces. Nous examinerons donc successivement la *ténacité*, la *dureté*, la *ductilité*, l'*élasticité*, la *compressibilité*, la *flexibilité* et l'*extensibilité*.

DE LA TÉNACITÉ.

102. On entend par ténacité cet effet de la cohésion qui s'oppose à ce que les particules d'un corps solide soient directement écartées les unes des autres par des tractions opposées. On voit par cette définition que cette propriété est en quelque sorte l'expression de la cohésion proprement dite; et l'on peut observer en effet qu'elle existe dans les liquides comme dans les solides, puisque, dans l'un et l'autre cas, il faut employer une force appréciable pour arracher les molécules les unes aux autres.

La connaissance du degré de ténacité des différens corps étant d'une grande importance dans les sciences et dans les arts, on a dû faire beaucoup de recherches pour la déterminer avec exactitude. On s'est servi en général d'un procédé fort simple, qui consiste à prendre un corps d'une forme allongée, à le fixer par une de ses extrémités en suspendant à l'autre des poids successivement croissans jusqu'à produire la rupture du corps en travers. On a reconnu par ces expériences que la longueur du corps n'influait presque point,

comme il était facile de le prévoir, sur la résistance qu'il opposait; mais que cette résistance était exactement proportionnelle à ses deux autres dimensions, c'est-à-dire à la surface de sa coupe transversale; en sorte, par exemple, qu'un fil métallique cylindrique de deux millimètres de diamètre offre une résistance quatre fois plus considérable que celle d'un autre fil du même métal qui n'aurait qu'un millimètre de diamètre.

La ténacité étant particulièrement remarquable dans les substances métalliques, on l'a aussi particulièrement étudiée dans ces sortes de corps. On s'est servi de fils de deux millimètres de diamètre, et on a obtenu les résultats suivans :

Le fer supporte avant de se rompre un poids de.	249,659
Le cuivre.	137,399
Le platine.	124,690
L'argent.	85,062
L'or.	68,216
L'étain.	24,200
Le zinc.	12,720
Le plomb.	9,750

On voit par cette table que les métaux diffèrent considérablement les uns des autres par leur ténacité; et si on la compare avec celle des poids spécifiques (99), on trouve que les métaux qui présentent le poids spécifique le plus considérable ne sont pas ceux qui présentent la plus forte ténacité,

puisque le fer, un des plus légers, est le plus tenace de tous, tandis que le plomb, un des plus pesans, est celui qui offre la plus faible ténacité. Cette singulière opposition s'explique en grande partie par l'observation suivante : les métaux jouissent à des degrés différens d'une propriété que nous connaîtrons sous le nom de *ductilité*, qui les rapproche jusqu'à un certain point de la condition du liquide, en ce qu'elle permet à leurs molécules de glisser les unes sur les autres avec plus ou moins de facilité. En conséquence, lorsqu'on suspend des poids à un fil métallique de deux millimètres de diamètre, ce fil éprouve un allongement qui dépend de la ductilité et qui lui est proportionnel. Mais cet allongement ne saurait avoir lieu sans que le diamètre du fil soit diminué; et comme la ténacité est proportionnelle aux dimensions transversales, le fil doit se rompre d'autant plus facilement qu'il a été plus allongé, conséquemment plus aminci. Aussi observe-t-on que les extrémités qui répondent à la rupture ont un diamètre beaucoup plus petit que celui du fil primitif.

L'arrangement particulier des molécules du métal peut modifier considérablement sa ténacité : celui qui a été fondu, et dont la texture est grenue ou lamelleuse, offre beaucoup moins de résistance que celui qui a été forgé, et dont la texture est fibreuse. Aussi le fer forgé est-il, sous ce rapport, bien supérieur à la fonte de fer.

La ténacité a été étudiée avec quelque soin par Muschenbroeck, sur les différens bois qui servent aux constructions. Mais dans ce genre de corps, qui offre une texture si bien caractérisée, il est fort important de distinguer dans quel sens on exerce les tractions. La ténacité est très-faible quand on agit transversalement aux fibres du bois; elle est très-considérable dans le sens de leur longueur. Le chêne et le hêtre l'emportent de beaucoup sur tous les autres bois par cette propriété.

Les cordes, dont le tissu est tordu, présentent une ténacité sur laquelle le même physicien a fait beaucoup de recherches. Elle est, en général, beaucoup moindre que la ténacité totale de toutes les fibres supposées parallèles. Cependant la torsion est indispensable, car il serait impossible de faire supporter également une traction donnée par un très-grand nombre de fils parallèles. A la moindre différence de longueur, quelques fibres supporteraient tout l'effort à elles seules, et par conséquent elles se rompraient toutes successivement. La torsion a pour objet de distribuer l'effort à-peu-près uniformément entre toutes les fibres; elle est donc indispensable. Mais puisqu'elle diminue la somme des résistances, elle doit être bornée; et l'on estime en général qu'une corde doit être tordue de manière à raccourcir d'un cinquième seulement.

Parmi les circonstances qui peuvent modifier

le degré de ténacité des corps, l'action répulsive du calorique accumulé dans leur intérieur joue le principal rôle. Cette influence est surtout remarquable dans les métaux : lorsqu'ils sont rouges de chaleur, leur ténacité est considérablement diminuée; elle devient presque nulle quand ils approchent de leur terme de fusion. Le calorique agit ici d'après les principes que nous avons posés (78), comme antagoniste de la cohésion.

DE LA DURETÉ.

103. On entend en physique, par *dureté*, la propriété relative des corps solides de se laisser user ou rayer les uns par les autres. Par exemple, on dit que le verre est plus dur que le marbre, parce qu'un morceau de verre anguleux entame et raye un morceau de marbre uni; parce que du verre en poudre use un morceau de marbre à l'aide du frottement. Le verre à son tour est rayé par le cristal de roche, qui l'est lui-même par plusieurs autres pierres, et surtout par le diamant, qui n'est rayé par aucun autre corps, et qui présente pour nous le *maximum* de la dureté.

Il est important de distinguer la dureté d'une grande masse de la dureté des petites parcelles; car un morceau de charbon est facilement rayé par tous les corps durs, et la poussière de charbon peut être employée à polir les corps très-durs. Il en est de même de la pierre ponce.

Quand on recherche les causes de la dureté telle que nous venons de la définir, il est très-difficile de les apprécier : en effet, la dureté n'est nullement proportionnelle à la densité des corps, puisque le diamant, qui est le plus dur de tous, a un poids spécifique beaucoup moindre que celui du plomb, qui est un des plus mous. La dureté ne dépend pas même de la nature intime ou de la composition chimique du corps; car le saphyr, qui est un des corps les plus durs que nous connaissions, est formé d'alumine, qui ne présente dans ses autres états qu'une dureté très-médiocre; il en est de même du diamant comparé au carbone noir. Cette propriété semble donc dépendre à la fois de la nature des molécules, de leur degré de rapprochement et de leur arrangement.

La dureté peut varier considérablement dans un même corps, sans qu'il paraisse avoir éprouvé du reste aucun changement notable. Si l'on prend un morceau d'acier, c'est-à-dire, de fer combiné avec une très-petite proportion de carbone, on trouvera sa dureté à peu près égale à celle du fer ordinaire; mais si l'on chauffe ce morceau d'acier, et qu'on le refroidisse plus ou moins rapidement en le plongeant dans l'huile, dans l'eau, dans le mercure, etc., ce morceau d'acier aura acquis une dureté très-considérable, et sera devenu capable de rayer et d'entamer le fer avec beaucoup de facilité. Le degré de dureté de l'acier sera proportionnel à l'élévation primitive de sa tempéra-

ture et à la rapidité de son refroidissement. Et ce même morceau d'acier perdra complètement cette dureté accidentelle, si on le chauffe de nouveau et qu'on le laisse refroidir lentement. Les physiciens ont inutilement cherché jusqu'ici l'explication de ce singulier phénomène. Celles qui ont été données sont d'autant moins admissibles, qu'il est des substances métalliques qui présentent un phénomène directement contraire.

On connaissait depuis long-temps en Europe des cymbales fabriquées en Orient, sur lesquelles on remarquait des empreintes de coups de marteau, qui supposaient un état de ductilité, quoique le corps fût au contraire susceptible de se briser par le choc. M. Darcet a découvert que l'alliage de cuivre et d'étain, qui forme ces instrumens, a la propriété de devenir dur et cassant quand on le laisse refroidir lentement, et de conserver au contraire beaucoup de mollesse et de ductilité quand on le refroidit tout-à-coup.

Il est important de rectifier quelques idées peu exactes, qui sont assez généralement répandues, sur l'acception du mot *dureté*. On croit ordinairement que plus un corps est dur, mieux il doit résister au choc, et il arrive presque toujours directement le contraire; en sorte que la *fragilité* est la compagne ordinaire de la dureté proprement dite. Le diamant, qui raye tous les autres corps, se brise sous un léger choc; le verre, qui sert de type à la fragilité, est beaucoup plus dur que le

fer. Enfin l'acier, en prenant par la trempe cette dureté si remarquable dont nous venons de parler, devient en même temps d'autant plus cassant qu'il est plus dur.

La dureté est un caractère physique important dont on fait un grand usage en minéralogie pour distinguer les composés naturels les uns des autres. Elle n'est pas moins essentielle particulièrement dans les métaux relativement aux usages mécaniques que l'on peut en faire. Aussi a-t-on cherché à la déterminer avec quelque exactitude, mais sans y avoir jusqu'à présent complètement réussi. Peut-être la meilleure méthode de mesurer cette propriété consisterait-elle à user, au moyen d'une meule, des parallélogrammes des différens métaux pendant un temps égal et sous la même pression ; la quantité de matière enlevée donnerait la proportion de la dureté relative.

Autant qu'on peut en juger par le peu de recherches qu'on a faites jusqu'à présent sur cet objet, les métaux peuvent se ranger, sous le rapport de leur dureté, dans l'ordre suivant : tungstène et palladium, manganèse, fer, platine, cuivre, argent, bismuth, or, zinc, antimoine, cobalt, étain, arsenic, plomb, sodium et potassium.

DE LA DUCTILITÉ.

104. La ductilité est cette propriété des corps solides en vertu de laquelle ils peuvent être sus-

ceptibles de changer de forme par des efforts plus ou moins grands, et sans que l'agrégation de leurs molécules en soit diminuée. Ainsi la cire est *ductile*, l'or est *ductile*, le verre et l'acier trempé sont *aigres* ou *cassans*.

Toutes les substances qui sont naturellement molles ou qui peuvent le devenir à une très-légère chaleur, comme la cire, la gomme laque et les graisses, peuvent être considérées comme des corps facilement ductiles; mais cette expression s'applique plus particulièrement aux substances métalliques.

Il faut distinguer avec soin le genre d'effort par lequel on essaie de changer la forme d'un métal. Si après l'avoir formé en cylindre, on l'oblige à passer par des trous percés dans une lame d'acier, et dont les diamètres vont en diminuant, on parvient à diminuer le diamètre du cylindre et à obtenir des fils plus ou moins fins. On conçoit que la ductilité est ici mise en jeu par une pression circulaire, et si l'on fait passer le même métal entre deux cylindres d'acier, on pourra le réduire en feuilles, et ce sera encore une pression successive qui aura déterminé le déplacement des molécules. Si l'on place le métal sur une enclume, et qu'on le frappe avec un marteau, on changera sa forme par l'effort puissant qu'on appelle *choc*.

Quoique tous les métaux qui jouissent de la ductilité soient susceptibles de céder à ces différens modes d'action, ils se prêtent cependant plus

ou moins bien à l'un ou à l'autre. Ainsi, pour qu'un métal puisse être réduit en fil très-fin, il faut nécessairement qu'il présente, indépendamment de la ductilité, une ténacité très-considérable, puisqu'il faut que le fil résiste à l'effort de traction que l'on fait pour l'obliger à passer dans la filière. C'est à ce mode d'extensibilité qu'on applique plus particulièrement le mot *ductilité*. Si le déplacement des particules est déterminé par des coups de marteau, le métal ne s'y prêtera qu'autant qu'il aura beaucoup de densité ou une grande cohésion, car ce mode d'action tend à séparer brusquement les particules les unes des autres. On nomme spécialement *malléabilité* la faculté de se laisser réduire en feuilles par le choc.

On a imaginé dans les arts beaucoup de procédés ingénieux pour obtenir des feuilles très-minces de certains métaux. Par exemple, le choc immédiat du marteau brisant avec facilité les feuilles d'or que l'on essaie d'amincir, on en place un certain nombre les unes sur les autres, en interposant des feuilles de baudruche. L'effet du choc est alors adouci, et les feuilles s'étendent toutes à-la-fois autant que le permet la grandeur des feuilles de baudruche superposées. On décompose alors le livret, on coupe toutes les feuilles d'or en quatre, et on les replace dans le milieu de l'espace; on continue à frapper, et l'on répète la même opération jusqu'à obtenir des feuilles d'or tellement

minces, qu'un grain d'or fournit cinquante pouces carrés.

Si l'on se rappelle que le calorique, en pénétrant un corps solide, peut écarter ses particules au point de le rendre liquide, ou de le mettre dans un tel état que toutes ses molécules puissent se mouvoir librement les unes sur les autres, on concevra que la température doit influer beaucoup sur la ductilité en général et sur celle des métaux en particulier. On voit en effet que le fer se forge ou se lamine très-aisément quand il est porté au rouge-blanc, et que le zinc, qui est cassant à froid, est ductile à la température de 100°; mais comme la ductilité suppose que les particules soient capables de persister dans la nouvelle situation où on les a placées, il en résulte que cette propriété disparaît en quelque sorte dans les métaux lorsqu'ils approchent de leur terme de fusion. C'est pourquoi le plomb et l'étain sont plus ductiles à la température ordinaire que quand on les chauffe.

Pendant l'action des différens efforts que l'on emploie pour changer la forme des métaux, il arrive en général que leur densité s'accroît. Aussi leur poids spécifique se trouve-t-il plus grand après ces opérations qu'auparavant. Il arrive aussi que leur contexture se modifie d'une manière remarquable; elle tend à prendre la forme fibreuse; et lorsqu'on essaie, à coups de marteau, de réduire en feuilles un morceau de fer ou de plomb, il se

forme bientôt des fentes ou des gerçures, suivant la direction de ces fibres. Cette disposition est cause que la ductilité diminue considérablement dans certains métaux lorsqu'on les passe à la filière, qu'on les lamine ou qu'on les frappe. Ils contractent alors de la dureté, de l'élasticité et une sorte de fragilité ; on nomme cet état *écrouissement* des métaux. On y remédie par l'opération qu'on nomme *recuit*, et qui consiste à les chauffer jusqu'à la température rouge : il paraît qu'alors les molécules du métal reprennent leur arrangement primitif avec toute leur ductilité première. L'or, l'étain et le plomb n'éprouvent pas d'écrouissement sensible.

D'après ce que nous avons dit des circonstances qui modifient la ductilité, on ne peut déterminer ces degrés dans les différens métaux qu'en tenant compte de ces circonstances. Ainsi, sous le rapport de la faculté de se laisser étendre en fils très-fins, on peut les ranger dans l'ordre suivant : platine, argent, fer, cuivre, or, zinc, étain, plomb.

Comme susceptibles de se réduire en feuilles très-minces, avec les précautions que nous avons indiquées, ils se rangent dans l'ordre suivant : or, argent, cuivre, étain, plomb, zinc, platine, fer.

Enfin sous le point de vue général de la facilité avec laquelle les métaux en masse cèdent à l'impression d'un choc, on les trouve rangés dans un

ordre tout différent, savoir : plomb, étain, or, zinc, argent, cuivre, platine, fer.

La ductilité est sans doute une des propriétés les plus précieuses que possèdent les métaux, et c'est à ce titre que les anciens donnaient le nom de *métaux parfaits* à ceux qui en étaient doués à un très-haut degré. Mais ce grand avantage est pourtant accompagné de quelques inconvéniens. Les métaux très-ductiles, comme l'or, l'argent et le plomb, ont une sorte de mollesse et de flexibilité qui leur permet de céder au moindre effort, et qui les rend peu propres à conserver des formes déterminées. Heureusement l'art des alliages nous apprend à corriger ces imperfections. L'or et l'argent des monnaies conservent long-temps leurs formes et leurs empreintes, parce qu'ils sont alliés d'un dixième de cuivre. La proportion de ce métal étranger est encore plus considérable dans la vaisselle et les bijoux.

DE L'ÉLASTICITÉ.

105. On nomme *élasticité* dans les corps solides, cette propriété en vertu de laquelle leurs molécules déplacées reviennent ensuite plus ou moins vîte, et complètement, à leur première situation.

Si d'une hauteur quelconque on laisse tomber une bille d'ivoire sur un plan de marbre, on observe que la bille se relève après avoir frappé le plan, tandis qu'une bille d'argile ou de plomb

le frappe et y reste appliquée. C'est à l'élasticité qu'on attribue le mouvement opposé à la chute qui se manifeste dans la bille d'ivoire.

Les physiciens ont expliqué diversement ce genre de phénomènes. Pour le concevoir, il faut se rappeler, 1°. que dans les corps solides les particules sont situées, les unes par rapport aux autres, dans des rapports qui dépendent d'une sorte d'équilibre entre la force de cohésion et la puissance répulsive du calorique; 2°. que les corps présentent divers degrés de ténacité, ou qu'il est plus ou moins difficile d'arracher complètement leurs molécules les unes aux autres; 3°. que la propriété que nous avons nommée dureté, met obstacle non-seulement à ce que les particules soient tout-à-fait séparées, mais encore au déplacement de ces particules; 4°. que la ductilité, au contraire, permet aux molécules de se déplacer réciproquement, en cédant à des efforts plus ou moins énergiques.

Dans cet état de choses il peut arriver que malgré la ténacité et la dureté d'un corps, ses molécules soient tout-à-coup dérangées de la situation qu'elles occupaient les unes par rapport aux autres, mais seulement d'une très-petite quantité, en sorte que ces molécules ne soient pas pour cela complètement soustraites à l'action des causes qui les maintenaient en équilibre, ce qui produirait la fracture du corps. Cela étant, si la cause de déplacement cesse d'agir, les molécules revien-

dront à leur première position ; et comme elles auront, en y arrivant, un mouvement acquis, elles la dépasseront pour retourner du côté opposé, et ainsi successivement par des oscillations décroissantes, jusqu'à l'état de repos ; à-peu-près comme il arrive à une corde tendue entre deux points fixes, que l'on pince dans son milieu, et qui vibre pendant un certain temps.

En se représentant ainsi les phénomènes de l'élasticité, on en conçoit aisément toutes les circonstances et toutes les modifications.

On peut dire qu'il existe, dans les corps solides, deux genres d'élasticité bien distincts. En effet, les corps durs et élastiques éprouvent les vibrations dont nous avons parlé, avec une telle rapidité, que les effets de l'élasticité paraissent instantanés : c'est ce qui arrive dans le choc de deux billes d'ivoire. Les corps mous et élastiques exigent, au contraire, un temps assez long pour revenir à leur forme première, quand elle a été modifiée ; aussi verrons-nous, en parlant du choc de ces corps, qu'il se perd une grande quantité de mouvement dans le jeu de leur élasticité.

L'élasticité a des degrés dans les différens corps, quoiqu'ils en jouissent tous plus ou moins ; on nomme *élasticité parfaite*, celle dans laquelle le corps dont on a changé la forme revient complètement à son état primitif, comme il arrive à un ressort d'acier, à une bille d'ivoire, etc. On nomme *élasticité imparfaite* celle que présentent

la plupart des corps ductiles ; il faut seulement remarquer que le retour complet à l'état primitif dépend en grande partie de l'intensité de la force qui a changé la forme du corps. Par exemple, si l'on courbe en demi-cercle une lame d'acier, elle redevient ensuite parfaitement droite : si l'on courbe de même une lame de cuivre, elle ne se redresse qu'imparfaitement ; et si l'on emploie une lame de plomb, elle conserve à très-peu près la courbure qu'on lui a donnée ; mais si l'on ne fait subir à la lame de cuivre qu'une demi-flexion, elle pourra revenir complètement à la direction droite ; et si la lame de plomb elle-même n'a été fléchie que d'une très-petite quantité, elle reviendra, par des vibrations rapides, à son premier état.

On peut conclure de ce qui précède, que la ductilité ne s'oppose à l'élasticité qu'en tant qu'elle permet de déplacer complètement, à l'aide d'un effort médiocre, les particules du corps ductile.

La forme des corps influe d'une manière très-importante sur les phénomènes de l'élasticité, et peut transformer les mouvemens infiniment petits des particules du corps, en mouvemens très-étendus des différens points de sa masse.

Si l'on prend une lame d'acier parfaitement droite, et qu'on la courbe en demi-cercle, il est évident que toutes les particules de la surface convexe se trouveront placées un peu plus loin les unes des autres qu'avant la flexion, puisque les

deux surfaces opposées de la lame avaient la même longueur, et qu'actuellement la demi-circonférence extérieure est nécessairement plus longue que la demi-circonférence intérieure ; et par opposition, les molécules de la surface convexe seront plus rapprochées les unes des autres qu'elles ne l'étaient primitivement ; et si nous supposons que toutes les molécules tendent à reprendre leur situation première, la lame d'acier devra se redresser à l'instant où on l'abandonnera. En conséquence ses deux extrémités parcourront de grands espaces, en vertu des rapprochemens et des écartemens infiniment petits qui auront lieu entre les particules.

Si l'on suppose qu'un solide sphérique élastique reçoive un choc dans un point de sa surface, sa forme générale sera modifiée de manière que le diamètre perpendiculaire au point choqué sera raccourci, et tous les diamètres transversaux allongés ; mais aussitôt après le choc, le diamètre perpendiculaire non-seulement reprendra sa longueur, mais la dépassera pendant que tous les diamètres transversaux se raccourciront, et ce changement de forme est précisément la cause du mouvement opposé que prendra le corps élastique après le choc.

Si le corps élastique est un simple anneau circulaire, il deviendra elliptique dans un sens, au moment du choc ; et immédiatement après, elliptique dans le sens opposé ; et dans ce cas les mou-

vemens de totalité seront beaucoup plus sensibles que dans le cas du solide sphérique, parce que toute la matière se trouve transportée à la circonférence de la figure. Il en sera à-peu-près de même pour une sphère élastique creuse.

On peut rendre ce phénomène sensible à la vue et au toucher, en frappant sur le bord d'un grand vase de cristal ou dans l'intérieur d'une cloche de bronze. On voit alors distinctement les mouvemens d'oscillations rapides par lesquelles ces corps circulaires passent avant d'arriver au repos; et si l'on en approche avec précaution un autre corps solide, on entend une multitude de chocs très-rapides qui ne peuvent dépendre que des changemens de forme de la cloche.

Les vibrations par lesquelles les corps élastiques arrivent peu-à-peu à l'état de repos, sont soumises à des lois qui dépendent de la nature et de la forme de ces corps; et que nous étudierons plus tard. Elles se communiquent à l'air qui les environne, et produisent souvent ce que nous appelons des *sons*.

Les corps mous et flexibles, comme les cordes, les fils métalliques, les tissus, les membranes, etc., laissent, dans leur état naturel, trop facilement déplacer leurs molécules pour présenter une élasticité sensible. Mais si l'on remplace la dureté qui leur manque par la tension de leurs différentes parties; si, par exemple, on attache une corde par ses deux extrémités, en exerçant sur elle une trac-

tion; si l'on dispose de la même manière une membrane sur un moule solide, ces corps, tout-à-l'heure si souples, deviendront éminemment élastiques. En effet, la corde et la membrane ont leurs molécules placées le plus près possible les unes des autres, quand l'une est droite et l'autre plane; mais si l'on vient à écarter la corde de sa direction droite, on la force à s'allonger; on écarte de quelque chose ses particules les unes des autres; elles tendent à se rapprocher; dès-lors il y a élasticité, et par conséquent vibration. Le même raisonnement s'applique à la membrane, qui devient concave lorsqu'on la frappe.

Dans tous les cas d'élasticité que nous venons de passer en revue, si la force employée pour déplacer les molécules est trop grande, il en résulte deux genres d'effet; les corps durs sont brisés, les corps mous sont déformés sans retour; quant aux cordes ou aux membranes, elles se rompent. Dans tous les cas, la force employée a fait dépasser aux molécules le point d'où elles sont susceptibles de revenir à leur situation première.

Lorsque la forme d'un corps élastique est changée par une puissance dont l'action persiste, les molécules paraissent s'arranger peu-à-peu dans leur nouvelle situation, et y contracter un nouveau mode d'équilibre fixe, d'où vient que les ressorts tendus pendant long-temps finissent par perdre leur élasticité.

L'élasticité des corps solides est une propriété

dont nous faisons des usages très-fréquens. La tendance des ressorts métalliques à reprendre leur forme altérée, est une puissance employée en mécanique pour communiquer le mouvement aux horloges, aux montres, et à beaucoup d'autres machines dans lesquelles entrent encore, comme moyens nécessaires, un grand nombre de lames élastiques qui, par leur situation, exercent des pressions constantes. Des arcs métalliques formés de lames d'acier superposées servent à suspendre nos voitures, et cédant momentanément aux pressions extraordinaires qu'ils éprouvent, adoucissent tous les chocs qui peuvent résulter d'un mouvement rapide sur un sol inégal. Les coussins, les lits sur lesquels nous reposons, présentent une élasticité générale qui dépend de toutes les élasticités particulières des crins, de la laine, ou des plumes qui entrent dans leur composition. Ces tissus animaux ont une forme propre qui est changée par la pression, et qu'ils tendent incessamment à reprendre jusqu'à ce que, par un long usage, ils se soient feutrés ou attachés les uns aux autres, et qu'il devienne nécessaire de les carder ou de les battre pour les rendre à leur forme première.

Nous devons faire remarquer, en terminant, que l'élasticité dont nous venons de parler, est particulière aux corps solides ; qu'elle diffère absolument de celle des gaz et de celle des liquides, dont nous parlerons plus tard, et qu'enfin il ne

faut pas la confondre avec la compressibilité dont nous allons parler.

DE LA COMPRESSIBILITÉ.

106. La compressibilité est cette propriété des corps solides en vertu de laquelle ils seraient susceptibles de diminuer de volume sous l'influence d'une action mécanique extérieure.

Il est essentiel de distinguer cette propriété de tous les autres cas dans lesquels les corps solides peuvent changer de volume. On observe en effet que les corps solides diminuent dans toutes les dimensions lorsqu'ils se refroidissent; mais cet effet doit porter le nom de *condensation ;* il est le produit de l'action intime de la cohésion, qui l'emporte alors sur la force répulsive du calorique, dont on a diminué la quantité. Quant à la compressibilité proprement dite, elle ne pourrait être que l'effet d'une pression mécanique extérieure qui, venant s'ajouter à la force de cohésion des molécules, l'emporterait sur la force répulsive du calorique, et déterminerait un rapprochement.

Pour étudier la compressibilité, il faut d'abord distinguer les corps solides en deux espèces, savoir : les corps éminemment poreux, et les corps qui n'ont point de pores *visibles.*

COMPRESSIBILITÉ DANS LES CORPS POREUX.

107. Dans les corps poreux, comme le liége, il existe des cavités dont le diamètre est assez considérable pour qu'il n'y ait aucune action moléculaire possible entre les particules de leurs parois. Ce sont en quelque sorte de petites vésicules qui peuvent s'aplatir sous la moindre pression, et jusqu'à ce que leurs parois se touchent. Il est constant que ces sortes de corps sont éminemment compressibles, puisqu'il suffit de presser un morceau de liége entre les doigts pour lui faire perdre la moitié de son volume; mais on peut considérer cette diminution de volume comme un rapprochement de beaucoup de petites masses de matières qui précédemment étaient écartées les unes des autres. Il est évident qu'on n'a pas eu à faire, dans cette opération, à l'action répulsive du calorique; le liége comprimé ne s'est point échauffé, on en a tout au plus expulsé l'air atmosphérique qui était contenu dans les pores. Nous dirons donc que les corps très-poreux sont susceptibles de diminuer de volume par la pression, sans que la matière propre de ce corps ait réellement éprouvé aucune véritable compression; ce qui n'empêche pas que ces corps ne reviennent à leur volume primitif quand on cesse de les presser, mais seulement par un effet de l'élasticité des parois de leurs cellules.

Quant aux corps solides qui n'ont pas de pores visibles, on peut les distinguer en ceux qui sont ductiles et ceux qui sont élastiques.

COMPRESSIBILITÉ DANS LES CORPS DUCTILES.

108. Une expérience directe tend à prouver la compressibilité des corps ductiles : si l'on prend avec exactitude la température et le poids spécifique d'une rondelle d'or ou d'argent destinée à former une pièce de monnaie, et qu'on appelle *flan*, et si l'on fait subir à cette rondelle un choc du balancier, on trouvera la pièce frappée fortement échauffée : si l'on prend de nouveau son poids spécifique, on le trouvera augmenté. Ces deux circonstances indiquent que les molécules du corps ont été rapprochées et qu'il y a eu compression. Si l'on répète la même action sur le même flan, à chaque coup de balancier il y aura moins de condensation produite et moins de calorique dégagé, jusqu'à ce qu'enfin ces effets deviennent nuls.

On peut conclure de cette expérience intéressante, que l'or et l'argent sont compressibles par le choc. Il est cependant possible que dans les métaux qui ont été fondus, et surtout dans ceux qui ont une texture plus ou moins lamelleuse, il se forme certains pores plus grands que les autres, ou de petites cellules qui disparaissent sous un choc violent, en sorte que la compressibilité

des métaux ductiles reste douteuse. Il est certain que si la compressibilité des métaux ductiles est réelle, elle exige du moins une énorme puissance. On peut en juger par celle avec laquelle ces métaux se dilatent quand on les pénètre de calorique; ils sont alors capables de surmonter les plus grandes résistances physiques que nous puissions employer pour les contenir. Et l'on conçoit que la force qui serait nécessaire pour réduire un corps solide à quinze degrés de température au volume qu'il occuperait à zéro de température, doit être au moins égale à la force avec laquelle il se dilate quand il s'échauffe de zéro à quinze degrés.

COMPRESSIBILITÉ DANS LES CORPS ÉLASTIQUES.

109. La compressibilité paraît on ne peut pas plus facile à démontrer dans les corps qui jouissent d'une élasticité parfaite unie à une grande densité. Il paraît, en effet, que lorsqu'on laisse tomber une bille élastique sur un plan de marbre, les points de cette bille qui viennent à toucher le plan sont en quelque sorte refoulés dans l'intérieur de la masse du corps, pour en ressortir ensuite en produisant le mouvement réfléchi. On apporte pour preuve de ce genre d'effet, que si l'on a couvert le plan d'une légère couche d'huile, on y reconnaît, après le choc, non pas seulement la trace d'un seul point de contact, mais bien d'une surface circulaire assez étendue, qui semble indi-

quer que la sphère s'est aplatie dans le moment du choc. Cependant en examinant avec attention les circonstances de cette expérience, on trouve d'abord que dans une bille de cristal, par exemple, le degré de déplacement des particules, qui serait nécessaire pour produire une semblable surface plane, devrait nécessairement amener la rupture du corps. On observe encore que dans certains chocs de ce genre, il se forme des fractures intérieures coniques, dont le sommet très-aigu est placé à la surface; ce qui favorise l'idée que le contact n'a eu lieu que par un point : et enfin, si l'on observe les effets du choc sur un cercle élastique d'une grande étendue, il devient évident que toutes les particules du corps sont réciproquement déplacées ; que l'un de ses diamètres s'accroît quand l'autre diminue; mais on n'observe pas la formation d'une grande ligne droite ou même concave à l'endroit du choc, comme cela devrait avoir lieu dans la théorie supposée. Il devient donc probable que dans le choc, les corps durs élastiques changent généralement de forme, éprouvent un léger déplacement simultané de toutes leurs particules, sans que l'on puisse en conclure qu'il y ait eu compression, c'est-à-dire diminution effective de l'intervalle qui sépare les molécules les unes des autres.

Il reste à expliquer la trace d'une surface circulaire étendue, dans le lieu du choc. Mais il faut observer 1°. que cette tache n'est rendue sensible

que par une petite couche de liquide, dont les particules frappées dans le point de contact doivent être projetées circulairement, de manière à laisser un certain espace nettoyé de cet enduit; 2°. que les corps qui sont plongés dans l'air sont immédiatement recouverts d'une couche adhérente de ce fluide élastique, qui doit se comporter comme la couche de l'enduit liquide, et produire des effets encore plus marqués en raison de son élasticité et de la forte compression qui doit avoir lieu dans le point même de contact.

La compression paraît encore plus probable dans la flexion d'une lame élastique, puisque la surface concave présente nécessairement moins d'étendue qu'avant la flexion. Mais on peut objecter que la couche moléculaire qui forme cette face interne, tout en prenant moins de longueur, peut augmenter de largeur ou d'épaisseur, et que les molécules peuvent être ainsi réellement déplacées ou éloignées de leur situation d'équilibre fixe, sans avoir éprouvé un véritable rapprochement réciproque.

Nous pouvons donc dire des corps élastiques comme des corps ductiles, que leur compressibilité est douteuse; et nous ajouterons aussi que si elle existe, elle doit exiger l'emploi d'une énorme puissance. En effet, on sait qu'en enfermant dans l'enveloppe la plus solide une certaine quantité d'eau liquide, l'enveloppe est brisée lorsque l'eau devient solide; et cela, parce qu'elle augmente de

volume en prenant ce nouvel état. Or, si la glace était susceptible de compression, elle devrait y céder en effet dans le moment où elle vient à se former dans un espace trop étroit pour la contenir. Il est possible, au reste, qu'avec une résistance suffisante on parvînt à contenir la glace dans les limites du volume de l'eau liquide; mais cela n'ayant point été fait jusqu'ici, il résulte au moins, de cette observation, que la glace n'est compressible que par des puissances mécaniques supérieures à celles dont nous pouvons disposer.

Si l'on compare ce que nous avons dit de l'élasticité et de la compressibilité, on verra que ces deux propriétés ne sont pas aussi intimement liées l'une à l'autre qu'on serait naturellement porté à le croire et qu'on le dit communément. Cette confusion peut bien provenir en partie de certains exemples saillans d'élasticité par suite de compressions qui se remarquent dans des corps volumineux. C'est ainsi qu'un ballon gonflé d'air s'aplatit considérablement par le choc, et, reprenant bientôt sa forme première, s'élance de nouveau avec toute la force que lui communique l'élasticité de l'air qu'il renferme. Mais la comparaison est inexacte, car nous démontrerons par la suite que les fluides élastiques diminuent de volume et augmentent de tension en raison directe des pressions qu'ils éprouvent, et jouissent par conséquent d'un mode d'élasticité qui leur est tout particulier.

DE LA FLEXIBILITÉ.

110. On donne le nom de flexibilité à cette propriété des corps solides en vertu de laquelle ils peuvent être pliés sans se rompre, soit qu'ils conservent cette forme, ce qui arrive aux corps ductiles; soit qu'ils reprennent leur forme première, ce qui arrive aux corps élastiques.

Si l'on observe ce qui se passe dans la flexion d'une tige d'un métal ductile, on verra que les molécules situées du côté où la flexion produit un angle saillant, s'écartent en glissant les unes sur les autres, tandis que celles qui sont placées dans l'angle rentrant s'accumulent et forment une saillie apparente. Il est permis de supposer que quelque chose de semblable arrive dans la flexion du corps élastique.

L'ordre de flexibilité dans les métaux doit être à peu près celui de leur ductilité. Mais la facilité avec laquelle un corps peut être plié dépend principalement de l'épaisseur de la masse sur laquelle on agit. En effet, puisqu'il est question d'étendre les molécules d'une face et d'accumuler celles de l'autre, on a à faire à deux résistances qui seront d'autant plus énergiques qu'elles agiront au bout d'un plus long levier; et la longueur de ce levier est exprimée par l'épaisseur même du corps qu'il est question de plier. On voit par là pourquoi il

y a tant d'avantage à faire usage, dans les constructions, de pièces de bois ou de fer qui présentent une grande épaisseur verticale.

Lorsqu'au contraire on a besoin d'une flexibilité prononcée, comme dans la plupart des ressorts, on dispose les lames d'acier de manière à les courber sur leur plat.

On peut dire que presque tous les corps de la nature sont flexibles quand leurs dimensions sont convenables, c'est-à-dire lorsqu'ils présentent une grande longueur sur une très-petite épaisseur. Ainsi le verre, qui est si dur et si fragile, peut être déduit en fils si minces qu'on puisse le dévider et le pelotonner comme un fil de soie. Beaucoup de minéraux offrent des exemples d'une flexibilité remarquable. Mais ce sont particulièrement ceux dont le tissu offre des filets déliés, comme l'amiante, ou des lames minces, comme le mica.

Les plus flexibles de tous les corps de la nature sont certainement les tissus organiques, comme le chanvre, le coton, la laine, la soie, etc.

DE L'EXTENSIBILITÉ.

111. On donne le nom d'extensibilité à cette propriété de beaucoup de corps solides de se laisser allonger dans un sens déterminé par deux tractions opposées. Elle peut avoir lieu de plusieurs manières différentes.

Un corps métallique ductile, réduit en fil,

comme le fer ou le cuivre, peut être allongé par une traction suffisante, sans toutefois se rompre ; mais lorsque cette traction cesse, il revient à sa situation première. Il est très-probable que, dans cette circonstance, les particules du fil métallique glissent légèrement les unes sur les autres, sans sortir de la sphère des forces qui les maintiennent dans leur équilibre fixe, et que par conséquent le diamètre du fil doit diminuer en proportion de son allongement. On peut nommer ce phénomène *extensibilité élastique*.

Si l'on agit sur les mêmes métaux par une traction plus forte, ou si l'on emploie des métaux plus ductiles, comme l'or ou l'argent, les fils s'allongent encore ; mais ils ne reviennent plus à leur longueur première. Aussi ces métaux très-ductiles ne peuvent-ils servir à faire des cordes sonores. Le déplacement des molécules est ici complet, et elles prennent une nouvelle situation d'équilibre fixe, comme dans les autres phénomènes de ductilité.

Les corps très-poreux, comme les peaux des animaux, les cordes à boyau, les cordes de chanvre, etc., s'allongent en diminuant de diamètre ou d'épaisseur d'une manière très-sensible. Dans ce cas, il est évident que les grands pores que ces substances contiennent s'allongent eux-mêmes et se rétrécissent pendant l'effet de la traction. Et si leurs parois sont élastiques, comme dans les peaux sèches, le corps allongé peut revenir sur

lui-même. Mais si ces parois sont flexibles et non élastiques, comme dans la peau mouillée, le corps conserve les dimensions que lui a données l'effort de traction.

Le caoutchouc offre un exemple d'extensibilité élastique; il s'allonge considérablement et revient presque complètement à son premier état. Ce qu'il y a de remarquable, c'est que si on le plonge dans l'eau froide pendant qu'il est allongé, il ne revient plus sur lui-même et conserve son état d'extension; mais si on l'échauffe dans la main, après l'avoir retiré de l'eau et séché, il reprend peu à peu toute son élasticité et sa forme première. Il paraît que la condensation produite par le froid détermine entre les molécules de nouvelles adhérences, qui maintiennent l'état d'extension jusqu'à ce qu'une nouvelle quantité de calorique vienne la détruire. Le caoutchouc est jusqu'ici la seule substance qui ait présenté ce phénomène particulier, sans doute parce qu'il présente à la fois une très-grande extensibilité et une force élastique très-peu énergique.

DE LA DILATABILITÉ.

112. On entend par dilatabilité la propriété dont jouissent les corps solides d'augmenter de volume dans tous les sens lorsque leur température s'élève. A cette propriété correspond la fa-

culté réciproque de se contracter ou de diminuer de volume lorsque la température s'abaisse.

Nous avons déjà dit qu'on attribuait non-seulement les divers états des corps, mais les changemens de volume qui surviennent à un corps, sans le faire changer d'état, à la force répulsive qui anime les particules du calorique.

Tous les corps solides sans exception sont susceptibles de dilatation et de contraction dans les cas indiqués ; et sans avoir recours à des expériences de cabinet, une foule de circonstances vulgaires en apportent la preuve. La grille du Carrousel était primitivement formée de barres de fer solidement liées entre elles depuis la porte du milieu jusqu'aux bâtimens latéraux. Ces deux barres métalliques, d'une grande longueur, se raccourcissaient en hiver et s'allongeaient en été, de telle façon que dans la première saison la porte restait béante, tandis que dans la seconde les deux vantaux se croisaient, et que dans aucun cas la porte ne se fermait convenablement. On a été obligé d'interrompre cette longue continuité, et de permettre aux parties divisées de se mouvoir dans l'intérieur des petites colonnes de pierre qui partagent la longueur de la grille.

Les longues conduites de tuyaux de fonte présentent des phénomènes semblables, et pour en prévenir les inconvéniens, on dispose d'espace en espace des tuyaux qui, sans laisser échapper

l'eau, peuvent rentrer l'un dans l'autre ou ressortir au besoin.

La force avec laquelle les corps solides augmentent ou diminuent de volume par les changemens de température est énorme et n'a même d'autres limites connues que la cohésion et la solidité de ces corps. Si dans la construction du fourneau le plus solide, on fait en sorte que la grille du foyer touche par ses extrémités les parois du fourneau, à la première impression de la chaleur la grille s'allongera et la maçonnerie sera écartée.

Si l'on attache à deux murailles une barre de fer pendant qu'elle est chaude, et qu'on la laisse refroidir, les murailles seront rapprochées, quelle que soit leur masse. Si l'on pose sur un corps cylindrique un cercle de fer encore chaud et qui s'y place librement, le cercle, en se refroidissant, étreindra le cylindre avec une grande force, et pourra même se rompre si la résistance du corps cylindrique est plus considérable que la force de cohésion du cercle de fer. C'est ainsi que sont disposées les roues de voitures, et c'est ce qui leur donne une si grande solidité.

Dans la construction des longs tuyaux de conduite, on a remarqué, avant l'usage des compensateurs que nous avons décrits, que pendant l'hiver les boulons qui unissent les différentes parties des tuyaux se rompaient par la rétraction de ces tuyaux.

On ne sera pas surpris de la grande puissance de ces petits mouvemens, si l'on considère qu'ils sont le résultat d'actions intimes ou moléculaires.

Tous les corps solides diffèrent entre eux par la quantité dont ils sont susceptibles de se dilater ou de se contracter sous l'influence des mêmes températures. Les métaux sont les plus dilatables de tous; viennent ensuite le verre, les pierres, le bois, etc.

Nous n'avons voulu donner ici qu'une indication générale de cette propriété importante des corps solides. Elle est regardée comme un effet des propriétés du calorique, et nous devrons l'étudier en détail en traitant de ce fluide impondérable.

CHAPITRE III.

APPLICATION DES LOIS DE LA MÉCANIQUE A L'ÉQUILIBRE ET AU MOUVEMENT DES CORPS SOLIDES.

113. *Application des lois de la composition des forces aux corps solides.* Nous avons donné (34 et suiv.) les lois de la composition des forces en les supposant appliquées, soit à un seul point matériel, soit à deux ou plusieurs points matériels invariablement liés entre eux. Pour appliquer maintenant ces lois

aux conditions d'équilibre et de mouvement des corps solides, il est bon de remarquer, 1°. que les corps solides peuvent être considérés comme une réunion d'un très-grand nombre de points matériels invariablement liés entre eux : nous disons invariablement, parce que nous supposerons d'abord que les forces employées ne sont pas capables de changer la forme du corps solide ou de le rompre, nous réservant d'examiner ensuite les changemens de forme et les ruptures qui peuvent survenir aux corps solides par l'application de certaines forces; 2°. qu'il suffit d'agir sur un petit nombre de points, ou même sur un seul point, d'un corps solide, pour mettre toute sa masse en mouvement; mais que les mouvemens des divers points de cette masse sont souvent très-différens les uns des autres, quoique produits par les mêmes puissances. C'est ainsi que dans un corps qui tourne autour d'un axe, les vîtesses de toutes les molécules sont proportionnelles à leur distance à l'axe. Nous devons distinguer le cas de l'application des forces à un corps solide absolument libre, des cas dans lesquels le corps solide est fixé par un ou plusieurs points de son étendue.

CONDITIONS D'ÉQUILIBRE DES FORCES AGISSANT SUR UN CORPS LIBRE.

114. Les lois abstraites que nous avons établies pour des points matériels liés entre eux, s'appli-

quent ici rigoureusement. Il suffit donc d'énoncer les propositions suivantes : *Un corps libre sollicité par une seule force ne peut être en équilibre qu'autant qu'on oppose une force égale agissant sur le même point du corps.*

Un nombre quelconque de force agissant sur le même point d'un corps solide sera en équilibre, si leur résultante commune égale zéro.

Un corps libre sollicité par deux forces appliquées à des points différents ne pourra être en équilibre que dans le cas où ces deux forces seront directement opposées ; comme dans la *fig.* 17, où le corps AB est sollicité par les deux forces AC et BD.

Dans le cas où ces puissances seraient parallèles ou obliques, l'équilibre sera produit comme nous l'avons dit (41 et suiv.).

Un corps libre sollicité par un nombre quelconque de forces parallèles, ne peut être en équilibre que dans le cas où toutes ces forces se réduiraient à deux puissances égales et directement opposées. Lorsque ces forces ont une seule résultante, on obtient l'équilibre en lui opposant directement une force égale.

Lorsqu'un corps libre est sollicité par un nombre indéterminé de forces dans toutes les directions appliquées à un nombre déterminé de points, le problème se résout par les lois indiquées (45).

DU CENTRE DE GRAVITÉ.

115. On rencontre dans la nature un exemple frappant d'une des circonstances que nous venons d'indiquer. En effet, tous les corps pesans sont sollicités par la pesanteur, comme si chaque point matériel qui les compose était animé d'une force; et toutes ces forces sont sensiblement parallèles d'après ce que nous avons dit (62). Nous avons dit ausssi (43), que des forces parallèles présentaient une résultante commune passant par un point déterminé, et que ce point que nous avons nommé *centre des forces parallèles*, était invariable, quoique l'on fît changer la direction des forces, et pourvu que l'on conservât leur parallélisme.

On nomme *centre de gravité* d'un corps, le point par lequel passe la résultante des puissances de pesanteur qui animent chacune de ses parties; et ce centre de gravité doit rester le même dans quelque sens que l'on tourne le corps, puisque ces mouvemens changent la direction des forces parallèles, sans détruire leur parallélisme.

Si nous supposons un corps ellipsoïde AB (*fig.* 18) situé horizontalement, toutes ses particules seront sollicitées par des forces égales et parallèles, et nous pouvons prendre pour exemple de ces forces celles des deux points extrêmes, et les représenter par les lignes AD et BE; elles auront une résultante commune et dans le même sens, égale à leur

somme; cette résultante, passant par le point C, sera représentée par C F.

Nous disons que si le même corps change de situation et se trouve placé verticalement, comme dans la *fig.* 19, la résultante *cf* passera par un point *c* qui sera le même dans l'intérieur du corps que le point C de la *fig.* 18. Et la même chose arriverait, si le corps était situé obliquement comme dans la *fig.* 20. D'où il résulte qu'il y a dans l'intérieur de tout corps solide un point unique qui est le centre des forces parallèles de la pesanteur, quelle que soit la situation du corps, et qu'on nomme centre de gravité.

La force de pesanteur agissant sur un corps solide quelconque, peut donc toujours être représentée par une résultante unique qui passe par son centre de gravité, et dont la direction est verticale.

Il résulte de ce que nous venons de dire, que pour faire équilibre à la pesanteur d'un corps, il faut lui opposer une force égale qui passe par le centre de gravité, et dont la direction soit verticale. Il y a deux manières de produire cet effet: on peut suspendre un corps par un de ses points, ou le faire reposer sur un plan solide.

116. La suspension d'un corps par un de ses points fournit un moyen élégant de déterminer son centre de gravité. Soit, par exemple (*fig.* 21), le triangle A B C considéré comme un plan pesant, et supposons qu'on le suspende par un fil attaché

à l'angle A ; ce triangle prendra une certaine situation d'équilibre ; et comme cet équilibre n'est possible que dans le cas où la résultante commune de la pesanteur se trouve dans la même direction que la force qu'on y oppose, il est évident que le centre de gravité du triangle se trouvera dans un point quelconque de la ligne A D. Si l'on trace cette ligne sur le triangle, et qu'on le suspende ensuite de nouveau par l'angle C, les mêmes circonstances se répétant, on aura une nouvelle ligne C F, sur laquelle devra aussi se trouver le centre de gravité du triangle, d'où il suit que ce centre de gravité sera nécessairement placé à l'intersection des deux lignes, c'est-à-dire au point O. Il suffit donc, pour trouver le centre de gravité d'un corps quelconque, de le suspendre successivement par deux points différens, et de chercher le point où les deux directions des fils de suspension se rencontrent.

117. Si un corps pesant repose sur un plan solide, ce plan opposera à la résultante commune des forces de la pesanteur une résistance absolue dépendante de la solidité du plan. Mais comme cette solidité appartient indifféremment à tous les points de sa surface, il en résulte qu'il y aura équilibre toutes les fois que la direction de la verticale, passant par le centre de gravité, tombera sur un point quelconque du plan sur lequel repose le corps. Soit (*fig.* 22), par exemple, le prisme droit ABDE reposant sur sa base, il y aura dans son

intérieur un point C qui sera le centre de gravité; en abaissant de ce point la verticale CO, elle tombera sur le point O, situé au milieu de la base du prisme, et ce point offrira une résistance verticale qui détruira l'effet de la pesanteur; en sorte que le prisme sera en équilibre.

Soit un autre prisme oblique *abde* : il aura aussi son centre de gravité *c*, dont la verticale tombera sur le point *o*, qui ne sera plus dans le milieu de la base, mais qui sera compris dans sa surface; il y aura encore équilibre entre la force de la pesanteur et la résistance du plan.

Si l'on fait attention aux deux circonstances d'équilibre que nous venons de rapporter, on verra que la résistance du plan aux points O et *o* peut très-bien se transmettre jusqu'au centre de gravité du corps, par la continuité de la matière solide du prisme, et que d'ailleurs les centres de gravité C et *c* ne pourraient pas descendre suivant les verticales CO et *co*, sans comprimer les particules inférieures du prisme et changer sa forme; ce à quoi la cohésion du prisme s'oppose. Mais si nous supposons un autre prisme $a'\,b'\,d'\,e'$ plus oblique que le précédent, la verticale abaissée de son centre de gravité c' tombera dans le point o', qui ne sera plus compris dans la base du prisme. Ce point offrira bien la même résistance que tous les autres points du plan; mais il n'y aura plus aucun moyen de transmission de cette résistance au centre de gravité, qui dès-lors pourra

descendre, non pas librement suivant la ligne verticale, mais en parcourant l'arc de cercle $c'c''$. En conséquence, dans cette nouvelle situation, il ne pourra plus y avoir équilibre entre la résistance du plan et la résultante des forces de la pesanteur du corps, et le prisme tombera jusqu'à ce qu'il rencontre le plan résistant par une de ses faces latérales.

Nous avons exprimé jusqu'à présent, dans les termes les plus simples, l'équilibre qui peut s'établir entre la résistance d'un plan et les forces de la pesanteur. Nous avons supposé que toute la résistance agissait aux points O, o, o'; il n'en est pas ainsi : l'action de la pesanteur agit en effet sur toute la surface par laquelle le corps repose sur un plan, et chacun des points de ce plan oppose une résistance particlle égale à la pression qu'il supporte ; mais on peut considérer les résistances aux points O, o, o', comme la résultante des résistances opposées à la résultante des forces de pesanteur. Cette explication était nécessaire pour concevoir comment un corps peut reposer en équilibre sur un plan, quoique la verticale, descendant du centre de gravité, tombe sur un point par lequel le corps ne touche point au plan résistant, et comment il est même possible que le centre de gravité d'un système de corps se trouve placé hors de la masse matérielle des uns ou des autres.

Afin d'éclaircir ces idées, nous supposerons (*fig.* 23) deux prismes obliques ABDE, *ab*DE,

appuyés l'un contre l'autre par l'arête commune DE. Chacun d'eux aura son centre de gravité particulier C et *c*, qui seront placés de manière que leurs verticales C O et *co* tomberaient hors de leurs bases, en sorte qu'aucun des deux ne pourrait rester en équilibre. Mais si, comme nous l'avons supposé, ils sont appuyés l'un contre l'autre, les deux résultantes C O et *c o* auront une résultante commune D K, dans la direction de laquelle se trouvera le centre de gravité du système ou de la réunion des deux prismes. Cette résultante tombera sur le plan résistant dans un point K, qui ne sera point compris dans l'une des bases des prismes, et pourtant le système reposera en équilibre sur le plan; car cette résultante D K est fictive, les véritables résistances ont lieu dans les deux surfaces des bases des prismes; elles se transmettent à chacun de leurs centres de gravité, et le centre de gravité commun ne saurait descendre sans comprimer la substance des prismes et en changer la forme, à moins que les bases des prismes ne viennent à glisser sur le plan qui les supporte; ce qui peut arriver, puisque les pressions et les résistances sont obliques à la direction de ce plan.

On concevra, d'après ces explications, que tout corps solide reposant sur trois points est en équilibre, lorsque la ligne verticale descendant de son centre de gravité tombe dans l'intérieur du triangle que l'on peut former avec ces trois points; et plus généralement, qu'un corps solide, reposant

sur un nombre quelconque de points, est en équilibre lorsque la ligne vérticale descendant de son centre de gravité tombe dans l'intérieur du polygone, que l'on peut former en réunissant par des lignes droites les points extrêmes sur lesquels repose le corps.

On nomme *bases de sustentation* les surfaces dont nous venons de parler.

118. Les corps solides d'une figure régulière ou symétrique présentent une circonstance particulière, savoir : que leur centre de gravité est situé dans leur centre de figure. Il est facile de concevoir que la chose doit être ainsi; car, si l'on fait passer un plan par le centre de figure d'un pareil corps dans une direction quelconque, il se trouvera toujours, des deux côtés de ce plan, un nombre parfaitement égal de particules matérielles situées à des distances respectives de ce plan parfaitement égales. Et, par conséquent, la somme des forces de la pesanteur d'un côté égalera la somme des forces de la pesanteur de l'autre; ce qui prouve que le centre de gravité sera dans ce plan. Mais, comme il en serait de même pour tout autre plan passant par le centre de figure, il en résulte qu'il est dans ce point même.

119. Jusqu'ici nous avons supposé, en parlant du centre de gravité des corps, que la matière de ces corps était ce que l'on appelle *homogène*, c'est-à-dire, qu'elle présentait partout une égale densité ou le même nombre de particules sous le même

volume ; mais on conçoit qu'une masse matérielle dont on cherche le centre de gravité peut se trouver *hétérogène* ou formée de substances diverses ayant des poids spécifiques différens. Dans ce cas, la situation du centre de gravité sera modifiée par ces différences de pesanteur. Si, par exemple, nous supposons (*fig.* 24) un plateau circulaire formé dans tous ses points de la même substance ; comme cette figure est régulière, le centre de gravité se trouvera précisément au point C, qui est le centre de figure du cercle, ou le centre proprement dit. Mais, si la moitié A de ce cercle était de bois, et la moitié B de plomb, le centre de gravité ne serait plus au centre de figure; il serait quelque part en un point C′, plus rapproché de la moitié la plus pesante.

120. Un système de corps liés entre eux d'une manière invariable présente, suivant leur situation respective, un centre de gravité qui peut être placé, comme nous l'avons vu, soit dans l'intérieur d'un des corps, soit dans l'espace qui les sépare. Soit, par exemple (*fig.* 25), les corps A et B unis par la ligne AB; si les deux masses sont égales, leur centre de gravité commun se trouvera dans le milieu de leur intervalle, et par conséquent au point C; mais s'il arrivait que le corps B, sans changer de poids, fût transporté au point B′, et toujours lié au corps A, le centre de gravité ne se trouverait plus en C, mais en C′, qui serait alors le milieu du nouvel intervalle séparant

les corps ; ce qui fait concevoir que, dans un système de parties pesantes et mobiles les unes sur les autres, le centre de gravité commun peut varier à chaque instant suivant les nouveaux rapports que ces parties peuvent prendre entre elles.

121. Il peut arriver qu'un corps soit en équilibre quoiqu'il ne pose sur un plan solide que par un seul de ses points, et l'on conçoit en effet que l'équilibre aura effectivement lieu, si ce point se trouve précisément dans la verticale qui descend du centre de gravité. Cette circonstance arrive pour une sphère parfaite, dans toutes les positions où l'on peut la placer ; mais il n'en est pas de même pour tout autre corps. Et, par exemple, dans le cas d'un ellipsoïde, ou d'un corps ayant la forme d'un œuf, il n'y a que deux situations dans lesquelles la verticale du centre de gravité passe par le point de contact avec le plan. Si l'ellipsoïde est placé debout sur une de ses pointes, le centre de gravité se trouvera placé le plus haut possible ; l'équilibre pourra exister, mais sera très-difficile à maintenir, attendu que le centre de gravité peut descendre par le plus petit changement dans la situation du corps. C'est pourquoi il est impossible de faire tenir un œuf sur sa pointe ; et c'est ce qu'on appelle *équilibre instantané* ou *instable*. Si l'ellipsoïde est placé horizontalement, le centre de gravité se trouvera au contraire le plus près possible du point de contact ; il lui sera impossible de des-



cendre davantage, et tous les mouvemens qu'on pourrait imprimer au corps auraient pour effet d'élever le centre de gravité, qui tendrait aussitôt à redescendre ou à revenir à sa position première : d'où il résulte que ce second genre d'équilibre est *permanent* ou stable.

On dit en général qu'il y a deux cas d'équilibre, l'un dans lequel le centre de gravité est le plus haut, et qu'on appelle *instable*, et l'autre dans lequel il est le plus bas, et qu'on nomme *stable*.

On conclut de ce principe, qu'en général un corps a d'autant plus de stabilité, ou est d'autant plus difficile à renverser, que son centre de gravité est situé plus bas.

122. La théorie du centre de gravité est susceptible d'un grand nombre d'applications aux besoins de la vie, aux arts, et surtout à la mécanique de l'homme.

Le but principal de l'architecture, c'est-à-dire la solidité des constructions, résulte des dispositions dans lesquelles on a convenablement disposé les masses superposées qui constituent nos édifices. L'élégance et le goût, qui sont plus souvent qu'on ne pense l'expression naturelle du beau et du bon, consistent, en architecture, à placer les uns sur les autres des ordres toujours plus légers, et à donner à l'édifice une base dont la largeur et la force paraissent propres à supporter l'élévation totale. Une simple colonne n'aura de

grâce qu'autant que sa base sera plus large que son sommet et sera proportionnée à sa hauteur. Les tours de Pise et de Bologne font exception à cette règle générale, et semblent prêtes à s'écrouler sur le spectateur qui les considère ; mais elles sont cependant disposées de manière que la verticale du centre de gravité tombe encore sur la base de sustentation.

123. Le corps de l'homme, dans ses diverses attitudes et dans ses différens mouvemens, doit nécessairement conserver la condition indispensable pour prévenir une chute. Cette condition se compose d'un très-grand nombre d'élémens, attendu que, 1°. le corps de l'homme est formé de substances hétérogènes et diversement pesantes, la tête étant, par exemple, spécifiquement plus lourde qu'aucune autre partie du corps ; 2°. toutes les parties du corps sont mobiles les unes sur les autres, ce qui peut faire changer à tout moment la situation du centre de gravité ; 3°. la base de sustentation elle-même est susceptible d'une grande variété d'étendue et de situation, soit par les positions diverses que peuvent prendre les pieds, soit lorsque l'homme est assis. Il est cependant possible d'établir un certain nombre de considérations générales qui servent de points de départ pour concevoir tous les cas particuliers.

Le corps de l'homme étant dans une situation droite, les jambes rapprochées l'une de l'autre, et les bras appliqués sur les côtés du tronc, le

centre de gravité de tout le corps répond dans la cavité du bassin, au-devant de la dernière vertèbre lombaire. Si l'homme, en cet état, repose sur la plante de ses pieds, la base de sustentation est circonscrite par la ligne qui entoure les deux pieds réunis ; elle a par conséquent à-peu-près dix pouces d'avant en arrière, et sept pouces d'un côté à l'autre. L'équilibre peut avoir lieu, ou la station sur les pieds peut se maintenir, pourvu que la verticale abaissée du centre de gravité tombe dans l'intérieur de cette base étroite ; mais on conçoit que le moindre effort doit suffire pour renverser un homme dans cette situation. Si les deux pieds sont placés l'un devant l'autre, et sur la même ligne, la base de sustentation est doublée dans un sens, mais diminuée de moitié dans l'autre, et la station est encore moins stable que dans le cas précédent. Si un seul pied pose sur le sol, la station devient très-difficile à maintenir. Dans toutes les suppositions que nous venons de faire, l'homme se maintiendrait difficilement debout, et ne saurait résister aux plus légers efforts tendans à le renverser ; mais la faculté d'écarter dans différens sens les deux pieds l'un de l'autre accroît considérablement sa stabilité : en effet, si les deux pieds sont écartés parallèlement l'un de l'autre, la base de sustentation est représentée d'avant en arrière par une longueur de dix pouces, et transversalement par l'écartement des deux pieds, qui

peut aller jusqu'à trente pouces. C'est dans cet état que la stabilité est à son *maximum*. Cependant, suivant le sens dans lequel se fait l'effort qui tend à renverser l'homme, il peut aggrandir la base de sustentation dans une direction ou dans l'autre. C'est ainsi qu'en portant un pied en arrière, il résiste efficacement aux puissances qui tendent à le pousser d'avant en arrière.

Si, dans la supposition de la station droite et sur les pieds réunis, une des parties du corps vient à se mouvoir, le centre de gravité sera déplacé, et la verticale cessera bientôt de tomber dans la base de sustentation. Par exemple, si la tête et le tronc se fléchissent en avant sur le bassin, le centre de gravité devenant plus antérieur, sa verticale tombera plus loin que la pointe des pieds, et la station deviendra impossible. Il suffit même, dans ce cas, d'élever horizontalement un des bras pour déterminer la chute de son côté. Mais si la mobilité des différentes parties du corps peut rompre aussi facilement l'équilibre qui permet la station, elle fournit aussi les moyens de maintenir cet équilibre. Par exemple, lorsque la tête et le tronc se fléchissent sur le bassin, la partie inférieure du tronc se porte en même temps en arrière, comme on le voit dans l'action de saluer, et les masses portées en devant étant compensées par celles qui sont portées en arrière, la verticale du centre de gravité continue à tomber

dans la base de sustentation. Il en arrive de même transversalement lorsque les deux bras sont élevés à la fois.

La condition qui concourt le plus efficacement à éviter les chutes dans différens sens, est la rapidité des mouvemens automatiques par lesquels nous rétablissons l'équilibre prêt à se rompre : la chute en avant est-elle imminente, nous avançons rapidement un pied ; sentons-nous notre corps prêt à tomber à gauche, nous étendons rapidement le bras droit ; cherche-t-on à nous renverser en arrière, nous reculons un pied et nous portons le corps en avant. L'agilité et la précision de ces mouvemens sont si nécessaires à la station, qu'il suffit de nous tromper sur la direction d'un effort ou de mettre obstacle à l'un de nos mouvemens, pour nous renverser aisément. Si, par exemple, étant placé vis-à-vis d'un homme, on allonge le pied gauche de manière à le placer derrière le talon de son pied droit, et que dans cet état on pousse inopinément son épaule gauche avec un doigt de la main droite, on le renverse avec la plus grande facilité.

Lorsqu'un homme porte un fardeau placé sur son dos, il est contraint de pencher le corps en avant, afin que le centre de gravité commun de la partie supérieure de son corps et du poids étranger ne soit pas placé trop en arrière; le contraire arrive à un homme qui porte un fardeau appuyé contre sa poitrine : si l'on essaie de porter

un seau d'eau avec une main, on sera contraint de pencher fortement le corps du côté opposé : de là vient qu'il est plus facile de porter deux seaux d'eau qu'un seul, attendu qu'alors les deux poids étrangers se font équilibre, et que le corps peut rester dans la rectitude.

La nécessité de maintenir l'équilibre en reportant une partie du corps du côté opposé à celui où se trouve une prépondérance de poids, donne lieu à une sorte de régularité dans des difformités accidentelles. Supposant, par exemple, que la colonne vertébrale se trouve fléchie du côté droit dans sa partie inférieure ou lombaire, on verra bientôt sa partie supérieure se courber du côté gauche pour produire la compensation nécessaire; ce qui constituera une double flexion en S, que l'on observe en effet dans toutes les difformités de ce genre.

L'art a souvent essayé de dépasser les limites des facultés naturelles à l'homme, et l'on voit les danseurs de corde et autres bateleurs se maintenir en équilibre sur une corde étroite et tendue. Ceux qui n'ont pas acquis une très-grande habileté dans ces exercices se servent d'une longue perche en bois, chargée de plomb à ses deux extrémités, qu'ils tiennent dans leurs mains, et qu'ils nomment *balancier* : les deux masses de plomb, très-éloignées du centre du mouvement, rétablissent facilement les dérangemens dans l'équilibre du corps. Mais ceux qui sont plus habiles se main-

tiennent par les seuls meuvemens de leurs bras, que l'on voit sans cesse dans une grande agitation pour maintenir l'équilibre du corps, toujours prêt à se rompre.

La station dans la position assise est beaucoup plus facile que toute autre, attendu que la base de sustentation est très-large, et que le centre de gravité est placé très-près de cette base. Mais dans cette position, il est impossible de se lever en conservant la rectitude du corps, et il devient indispensable de porter le haut du corps en avant jusqu'à ce que le poids de la partie inférieure du tronc se trouve compensé, et que la verticale du centre de gravité passe par la plante des pieds.

CONDITIONS D'ÉQUILIBRE DES FORCES AGISSANT SUR UN CORPS ASSUJETTI PAR UN POINT FIXE.

124. Jusqu'ici nous avons considéré les forces comme appliquées à des points matériels ou à des corps parfaitement libres d'obéir à leurs impulsions, en telle sorte qu'il ne pouvait résulter d'équilibre que dans les cas où toutes les forces se réduisant à une résultante unique, on pouvait lui opposer une force égale. Il est maintenant nécessaire d'examiner ce qui arrive lorsque des forces sont appliquées à un corps retenu par un ou plusieurs points *fixes*.

On entend par point fixe une disposition dans laquelle un point quelconque d'un corps ne peut

éprouver aucun déplacement dans aucun sens, quelles que soient la direction et l'intensité des forces qu'on lui applique ; en sorte qu'il faut considérer ce point fixe comme ayant en lui-même toutes les puissances nécessaires pour faire équilibre à celles qu'on peut lui appliquer. Cette supposition abstraite n'existe pas réellement dans la nature, car il n'y a pas de point absolument fixe et capable de résister à toute sorte de puissances. Dans la pratique ordinaire, la résistance des points fixes dépend de la cohésion de certains corps solides que l'on emploie pour en fixer d'autres ; et le point est réellement fixe quand les puissances ne sont pas capables de détruire la cohésion de ce corps et de le rompre.

Il est encore très-important de remarquer que dans nos expériences ou dans nos machines nous donnons souvent le nom de points fixes à des points qui n'ont réellement de fixité ou qui n'offrent de résistance que dans certaines directions. C'est ainsi que le couteau sur lequel repose le fléau d'une balance est un point fixe autour duquel se font les mouvemens de ce fléau ; mais qu'il n'offre réellement de fixité que par rapport aux puissances de la pesanteur qui tendraient à le faire descendre ; tandis qu'il deviendrait aisément mobile si on lui appliquait des forces contraires ou tendant à le faire monter.

Un axe qui tourne librement dans un trou circulaire est un point fixe relativement à toutes les

forces qui agiraient suivant les rayons du cercle. Il ne présenterait aucune fixité relativement à une force qui agirait suivant sa longueur.

En résumé, nous nommons point fixe, celui qui ne peut pas être déplacé dans la direction de la résultante des forces que nous appliquons à un corps.

D'après la définition que nous venons de donner, il est évident que quelles que soient les intensités et les directions des forces qui sollicitent un corps retenu par un point fixe, *il y aura équilibre toutes les fois que la résultante passera par le point fixe.*

Il résulte du même principe, que si la résultante ne passe pas par le point fixe, elle obligera toutes les particules du corps solide à tourner autour du point fixe comme centre, condition unique dans laquelle le point fixe puisse demeurer immobile, quoique toutes les autres particules du corps se meuvent.

On déduira avec la même facilité tous les cas d'équilibre de différentes forces sollicitant un corps fixé par un point, en se rappelant les règles que nous avons données (36 et suiv.), et faisant toujours en sorte que la résultante passe par le point fixe, comme nous aurons bientôt l'occasion de le dire en traitant des *Machines simples.*

CONDITIONS D'ÉQUILIBRE DES FORCES AGISSANT SUR UN CORPS ASSUJETTI PAR PLUSIEURS POINTS FIXES.

125. On conçoit que les cas dans lesquels un corps solide peut être fixé par plusieurs points, sont extrêmement variés et multipliés : nous ne nous occuperons que de quelques-uns de ces cas des plus remarquables.

CORPS FIXÉS PAR UN AXE.

Il peut arriver qu'un corps solide soit fixé par une suite de points situés sur la même ligne et traversant toute l'épaisseur du corps ; c'est la condition idéale de ce qu'on appelle un *axe* ; tandis qu'un axe matériel présente un cylindre plus ou moins solide, autour duquel un corps peut tourner.

L'équilibre est encore plus facile dans cette supposition que dans le cas d'un point fixe unique, car alors cet équilibre aura lieu, 1°. lorsque toutes les forces seront dans le plan de l'axe ; 2°. si la résultante unique de toutes les forces est dans le plan de l'axe, passe par cet axe, ou lui est parallèle ; 3°. si les forces se réduisant à un couple, ce couple est dans le plan de l'axe, ou dans un plan parallèle.

Les principes que nous venons de poser sur les cas d'équilibre des corps solides fixés par un ou

plusieurs points, fournissent la théorie des *machines simples*, et l'examen des propriétés de ces machines en rendra l'intelligence beaucoup plus facile.

DES MACHINES SIMPLES.

126. Les hommes ont imaginé, pour multiplier et varier les effets de leurs forces propres et de toutes les autres puissances qui sont à leur disposition, un nombre considérable de mécanismes divers, dans lesquels les directions des forces sont changées, leur vitesse accrue en perdant de leur intensité, ou leur intensité accrue en perdant de leur vitesse. Néanmoins, au milieu de cette variété et de cette complication, il est facile de reconnaître un certain nombre d'élémens mécaniques auxquels on a donné le nom de machines simples, et qui, par leur réunion et leurs combinaisons, forment toutes les machines composées. On reconnaît en général le *levier*, la *poulie* et le *plan incliné*, comme les trois élémens simples de toutes les machines complexes. Nous nous en occuperons successivement, ainsi que de la *balance*, du *treuil*, des *moufles*, du *coin* et de la *vis*.

DU LEVIER.

127. On donne le nom de levier à une tige solide dont la longueur est considérable relativement à ses autres dimensions, et qui peut d'ailleurs

présenter toute sorte de variétés de forme. Mais pour simplifier l'étude des phénomènes, on fait d'abord abstraction du poids et du volume du levier, et on le considère comme une ligne droite inflexible.

Une des conditions essentielles du levier comme machine, c'est l'existence d'un *point fixe*, autour duquel agissent deux forces, dont l'une porte le nom de *résistance*, et l'autre de *puissance*.

La situation du point fixe par rapport aux forces a fait distinguer les leviers en trois genres. Lorsque le point fixe est entre les deux forces, le levier est du *premier genre*; lorsque le point fixe est à une extrémité et la puissance à l'autre, le levier est du *second genre*; lorsque le point fixe est à une extrémité et la résistance à l'autre, le levier est du *troisième genre*. En d'autres termes, dans le levier du premier genre, le point d'appui est au milieu; dans le levier du second genre, la résistance est au milieu; dans le levier du troisième genre, la puissance est au milieu.

La *fig.* 26 représente un levier du premier genre; F est le point d'appui; R est une masse à mouvoir représentant la résistance; P est la puissance représentée par un poids.

La *fig.* 27 représente un levier du second genre; F est le point d'appui; R est une masse représentant la résistance; P est la puissance représentée par un poids suspendu à un fil qui passe sur une poulie, afin d'agir sur le levier de bas en haut.

La *fig.* 28 représente un levier du troisième genre; F est le point d'appui; R est un corps solide représentant la résistance, et P est la puissance exercée par un poids suspendu par un fil qui passe sur une poulie, afin de tirer le levier de bas en haut.

D'après le principe que nous avons établi, que l'on peut considérer le point d'appui ou le point fixe comme une force prête à agir dans toutes les directions, en opposition à celles qui lui seraient immédiatement appliquées, on trouve aisément les conditions d'équilibre de tous les leviers; car la puissance et la résistance sont deux forces agissant sur deux points matériels invariablement unis, et ces deux forces ont une résultante qui se trouvera détruite quand elle passera par le point fixe. Mais il existe une autre méthode de déterminer les cas d'équilibre des différens leviers, et nous croyons essentiel de la donner ici, attendu qu'elle est fondée sur ce qu'on nomme les *vitesses virtuelles*, dont nous n'avons pas encore eu occasion de parler.

On nomme *vitesse virtuelle* la vitesse que prendrait effectivement un point matériel actuellement en équilibre, s'il venait à se mouvoir par la destruction d'une des puissances qui agissent sur lui. Cela posé, soit, *fig.* 29, le levier A B dont le point fixe est en F. Supposons que ce point fixe est placé au tiers de sa longueur; que le point A est sollicité par une force A C que nous appellerons *résistance;*

et le point B par une force BD, que nous appellerons *puissance*. Nous disons que les points A et B seront en équilibre si les forces sont réciproquement proportionnelles aux longueurs des bras de levier, c'est-à-dire, si BD est moitié de AC, comme AF est moitié de FB. En effet, supposons un moment que le levier se meuve, le point B parcourra l'arc B*b*, et le point A parcourra l'arc A*a*. Or, ces deux arcs sont inégaux et proportionnels à leurs rayons, c'est-à-dire, aux bras de levier; et si l'on suppose que les forces AC et BD sont des masses matérielles, la quantité de mouvement d'un corps étant représentée par sa masse multipliée par sa vitesse, il faudra que la masse B soit la moitié de la masse A, pour qu'en multipliant chaque masse par sa vitesse virtuelle ou par la grandeur de l'arc qu'elle parcourrait en se mouvant, les deux produits soient égaux.

On exprime cette proposition en disant qu'il y a équilibre dans un levier quand les produits des masses par les vitesses virtuelles sont égaux; ou bien quand les produits des masses par les longueurs des bras de levier sont égaux; ou enfin, ce qui est la même chose, *quand les poids ou les forces sont réciproquement proportionnels aux longueurs des bras de levier.*

D'après nos principes sur les forces parallèles (43), les mouvemens du levier ne changeront rien à son état d'équilibre.

D'après nos principes sur le moment des for-

ces (44); le *maximum* de l'énergie des forces appliquées à un levier aura lieu quand la force sera perpendiculaire au levier; elle sera d'autant moindre que la force sera plus oblique à la direction du levier, et son intensité relative sera déterminée en multipliant la force par la perpendiculaire menée du point fixe sur sa direction.

Nous avons jusqu'ici appliqué ces raisonnemens au levier du premier genre. Ils s'appliquent également aux deux autres; et ce qu'on appelle *bras de levier* est toujours la distance du point fixe au point où la force s'applique. Ainsi, dans le levier du second genre (*fig.* 27), le bras de levier de la résistance est F R, et le bras de levier de la puissance est FP. Dans le levier du troisième genre (*fig.* 28), le bras de levier de la résistance est FR, le bras de levier de la puissance est FP.

Il est facile de concevoir, d'après les propriétés que nous venons de reconnaître aux leviers, que l'on peut s'en servir avec avantage pour faire équilibre à une puissance par une puissance beaucoup moindre, ou réciproquement, pour faire mouvoir avec vitesse un point donné en employant une puissance considérable, il est vrai, mais n'ayant qu'une vitesse médiocre. Ainsi, dans le levier du premier genre (*fig.* 26), si la distance RF était égale à 1, et la distance F P égale à 100, un poids de 100 livres placé en R pourrait être équilibré par un poids d'une livre placé en P. Et comme on peut faire usage de leviers d'une très-grande lon-

gueur, et même les combiner entre eux, on a ainsi la possibilité de remuer les masses les plus considérables à l'aide des plus faibles puissances : c'est ce qui faisait dire à Archimède qu'il remuerait la terre, si on lui fournissait un levier et un point d'appui.

Les différens genres de levier ne présentent pas une égale facilité pour faire prédominer l'effet de la puissance. Dans le levier du premier genre, la puissance peut être à volonté beaucoup plus petite ou beaucoup plus considérable que la résistance, suivant que l'on approche le point d'appui de l'une ou de l'autre de ces deux forces. Dans le levier du second genre, la puissance est nécessairement plus petite que la résistance. Dans le levier du troisième genre, la puissance est nécessairement plus grande que la résistance.

Le levier, que nous avons supposé jusqu'à présent sans volume et sans poids, a toujours, dans la pratique, un poids plus ou moins considérable dont il devient nécessaire de tenir compte, pour obtenir les conditions d'équilibre. Lorsque la largeur, l'épaisseur et la densité du levier du premier genre sont les mêmes dans toute sa longueur, et lorsque ses deux bras sont égaux, il se trouve naturellement en équilibre. Mais si ces bras sont inégaux, l'un sera nécessairement plus pesant que l'autre, et il faudra tenir compte de cette différence dans l'appréciation des forces qui se font équilibre. Dans le levier du second genre, la puis-

sance aura toujours la moitié du poids du levier à supporter; et dans le levier du troisième genre, la puissance pourra être chargée de la totalité de ce poids.

Les leviers peuvent être configurés tout autrement que nous ne l'avons supposé jusqu'ici. Ils peuvent former des angles; c'est ce qu'on nomme *leviers brisés.* Ainsi dans la *fig.* 30, le levier RFP est brisé dans le point fixe. Dans ce cas, l'intensité de la force P doit être mesurée d'après la longueur de la perpendiculaire F'P, et non d'après la longueur du bras de levier FP. De même, dans un levier courbe quelconque (*fig.* 31), les longueurs des bras de levier se réduisent réellement à celles des perpendiculaires PF' et RF'', quelles que soient d'ailleurs la forme et l'étendue des courbes décrites par le levier véritable.

128. Le levier simple est très-fréquemment employé dans les usages de la vie et dans les opérations mécaniques, et l'on fait usage de ses différens genres, suivant l'effet qu'on se propose de produire. Veut-on soulever une pierre qui repose sur le sol, on engage une barre de fer, sous cette pierre; on place derrière la barre de fer, et très-près de son extrémité, un corps solide résistant, et on appuie de tout le poids de son corps sur l'autre extrémité de la barre de fer. On fait usage dans ce cas d'un levier du premier genre, et la pierre sera soulevée d'autant plus aisément que la barre de fer sera plus longue et le point d'appui

placé plus près de la pierre. Si la barre de fer est engagée horizontalement sous la pierre, et que son extrémité libre soit soulevée, elle deviendra un levier du second genre. Lorsqu'un homme transporte un fardeau sur une brouette, le fardeau est soulevé par un levier du second genre; l'axe de la roue est le point d'appui, le fardeau repose sur la longueur du levier, et la puissance est située à son extrémité opposée. Aussi, plus les bras de la brouette sont longs, moins l'homme a d'efforts à faire pour la soulever.

Le levier du troisième genre est particulièrement employé dans les cas où l'on a besoin de produire une grande vitesse dans le mouvement, et où l'on dispose d'un excès de force : c'est ce qui arrive dans la pédale du rouet à filer ou dans celle du rémouleur. L'extrémité fixe de la pédale est le point d'appui; la résistance est à l'extrémité mobile de la pédale, et l'action du pied s'exerce dans l'intervalle.

La structure de l'économie animale, dans laquelle des os que l'on peut considérer comme des leviers solides, sont mis en mouvement par différens muscles que l'on peut considérer comme des puissances, présente une grande variété d'applications des différens genres de levier. Nous nous contenterons de citer quelques-uns des cas les plus remarquables.

Lorsque l'avant-bras est fléchi sur le bras, le cubitus représente un levier du premier genre;

le point d'appui est situé dans l'articulation cubito-humérale et répond au centre de l'échancrure sigmoïde ; la résistance est représentée par le poids de la main attachée à l'extrémité carpienne du cubitus, et la puissance produite par la contraction du muscle triceps brachial est appliquée au sommet de l'apophyse olécrâne, qui forme l'extrémité supérieure du cubitus. On voit que le point d'appui est ici placé entre la résistance et la puissance, mais très-près de cette dernière; d'où il résulte que l'extrémité libre de l'avant-bras est portée dans l'extension avec beaucoup de vitesse, mais avec une énergie qui est à peine le dixième de la force intrinsèque du muscle triceps. On voit encore que la puissance du triceps est à son maximum d'intensité quand l'avant-bras est fléchi à angle droit sur le bras, parce qu'alors la direction de la force est perpendiculaire au levier; tandis que, dans une extension presque complète, l'énergie du triceps est réduite à très-peu de chose, la direction de la force devenant presque parallèle à la longueur du levier. D'où il résulte qu'il est extrêmement facile d'obliger l'homme le plus vigoureux à fléchir son bras tendu.

En considérant l'ensemble du pied comme un levier horizontal, à l'aide duquel le corps est soulevé lorsqu'un homme s'élève sur la pointe des pieds ; ou lorsqu'il marche, on voit que ce levier est du second genre. En effet, le point d'appui est situé vers la tête du premier os du métatarse,

qui repose sur le sol; la puissance des muscles jumeaux et soléaires est appliquée par un tendon commun à l'extrémité postérieure du calcanéum; et le poids du corps repose sur l'astragale entre les deux extrémités du levier, et plus près de la puissance que du point d'appui.

Les exemples du levier du troisième genre sont très-multipliés dans l'économie animale. La mâchoire inférieure en offre un des plus remarquables : ici le levier est brisé, et en outre il est double, les extrémités antérieures réunies par la symphyse du menton. Le point d'appui est situé postérieurement dans le condyle de la mâchoire, reçu par la cavité glénoïde de l'os temporal. Le résistance est ordinairement placée à la partie antérieure ; elle consiste dans l'effort à faire pour couper ou écraser des corps solides placés entre les rangées dentaires; elle peut se trouver tout-à-fait à l'extrémité du levier, quand on se sert des dents incisives; ou dans d'autres points de sa longueur, quand on fait usage des petites et des grosses molaires. Quant aux puissances, dont les principales sont le muscle masséter et le muscle temporal, elles sont attachées à l'angle de la mâchoire et à l'apophyse coronoïde, c'est-à-dire entre le point d'appui et la résistance. Dans ce levier complexe, les rapports de situation du point d'appui, de la résistance et de la puissance, sont très-susceptibles de varier. Lorsque les dents incisives sont en action, la résistance agit au bout de toute la lon-

gueur du levier; l'intensité de la puissance est diminuée d'autant; mais elle n'avait pas besoin d'une grande énergie pour couper les substances alimentaires, tandis que l'étendue des mouvemens était nécessaire pour l'ouverture de la bouche. Au contraire, dans l'action des dents molaires, qui peuvent écraser et briser des corps très-durs, la résistance est placée presque au même lieu que la puissance qui jouit alors de toute son intensité. Enfin, dans un abaissement excessif de la mâchoire inférieure, l'angle de la mâchoire se portant en arrière et le condyle en avant, il peut arriver que le point d'attache de la puissance devienne postérieur au point d'appui, en sorte que la contraction du masséter détermine et maintient la luxation de la mâchoire.

L'action du deltoïde sur l'humérus, l'action du biceps sur le radius, celle du brachial antérieur sur le cubitus, etc., sont aussi des exemples de leviers du troisième genre.

Il est remarquable que dans presque toutes les circonstances de structure de l'économie animale, les puissances sont placées, par rapport aux résistances, d'une manière très-désavantageuse, relativement à l'intensité d'action, et favorablement sous le point de vue de la vitesse des mouvemens, en sorte que la promptitude dans les mouvemens est assurée par les rapports des leviers, et l'énergie de ces mouvemens par une grande puissance musculaire qui résulte de la multiplicité des fibres

qui se remarquent en particulier dans les muscles situés défavorablement.

DE LA BALANCE.

129. La balance est un des instrumens les plus usités et les plus importans, soit dans les besoins communs de la vie, soit dans les recherches scientifiques. Il sert à déterminer le poids des corps, en le comparant à des unités de poids précédemment déterminés. Tous ces effets dépendent de la théorie des leviers que nous venons d'exposer. On distingue deux sortes de balances, celles à bras égaux, et celles qu'on nomme *romaines*, et dont les bras sont inégaux.

130. *Balance à bras égaux*. Cette balance n'est autre chose qu'un levier considéré comme inflexible, supporté par son milieu à l'aide d'un point fixe, et disposé par ses extrémités de manière à ce que l'on puisse y suspendre des tiges, des chaînes ou des cordes qui supportent elles-mêmes des plateaux sur lesquels on peut déposer les corps qu'il est question de peser. Plaçant d'un côté le corps dont on cherche le poids, et ajoutant dans l'autre plateau autant de poids connus ou de fractions de ces poids qu'il en faut pour rétablir l'équilibre, on juge de l'exactitude de cet équilibre par l'horizontalité du levier qui se nomme *fléau* de la balance, et cette horizontalité elle-même se détermine au moyen d'une aiguille perpendicu-

laire au fléau, qui s'élève ou s'abaisse de son milieu, et dont la position verticale indique le point d'équilibre.

Un grand nombre de conditions sont nécessaires pour qu'une balance soit *exacte* et pour qu'elle soit *sensible*, c'est-à-dire susceptible d'indiquer les plus petites différences en poids.

La première condition est que les points de suspension des plateaux soient et restent toujours à une distance parfaitement égale du point fixe du fléau. On atteint ce but en armant le milieu du fléau de deux couteaux d'acier trempé, qui reposent sur deux surfaces légèrement concaves du même métal, et en établissant aux deux extrémités du fléau deux autres couteaux sur lesquels reposent les crochets qui suspendent les plateaux.

La seconde condition est que le fléau ne soit pas susceptible de se courber d'une manière sensible sous l'effort des poids que l'on suspend à ses extrémités. Nous sentirons bientôt l'importance de cette condition, que l'on remplit autant que possible en construisant le fléau en fer ou en acier, en lui donnant plus de force dans son milieu qu'à ses extrémités, et lui donnant aussi beaucoup plus d'épaisseur verticale que d'épaisseur transversale; mais surtout en n'employant chaque balance qu'à des pesées bien inférieures à la force qui serait nécessaire pour courber leur fléau.

Une troisième condition non moins indispensable est que le point d'appui du fléau soit placé

un peu plus haut que les deux points d'appui des plateaux, c'est-à-dire un peu au-dessus d'une ligne droite qui passerait par ces deux points d'appui. Cette condition exige, pour être bien comprise, que nous examinions d'abord l'équilibre du fléau isolé.

Le fléau d'une balance est un corps solide allongé, qui a un *centre de gravité* et un *centre de suspension*. Si le centre de gravité de ce corps était placé au-dessus du point de suspension, ce serait le cas de ce que nous avons nommé équilibre instable, car dans tous les mouvemens d'oscillation du fléau, le centre de gravité pourrait descendre en tournant autour du point fixe. Si le centre de gravité était placé exactement au point de suspension, l'équilibre pourrait avoir lieu dans toutes les situations du fléau ; il n'y aurait, par conséquent, aucune raison pour qu'il restât dans une position horizontale, ce qui est nécessaire pour apprécier les petites différences dans les poids que l'on pourra suspendre aux extrémités de ce fléau. Si le centre de gravité du fléau se trouve placé au-dessous du point de suspension, ce sera le cas de l'équilibre stable, et le fléau demeurera horizontal, à moins qu'on n'emploie une force quelconque pour l'incliner; et alors le centre de gravité s'élevant autour du centre de suspension, tendra bientôt à redescendre; ce qui déterminera des oscillations, jusqu'à ce que le fléau redevienne horizontal. Si l'abaissement du centre de gravité au-

dessous du point de suspension est très-peu de chose, la plus petite force, un milligramme, par exemple, suffira pour incliner le fléau, qui sera très-sensible, quoique dans un état d'équilibre stable. On obtient cet état du fléau en plaçant au-dessous du point de suspension une petite masse additionnelle, que l'on peut même rendre mobile au moyen d'une vis, de manière à diminuer ou à augmenter à volonté la sensibilité de la balance. Le fléau doit être mis très-exactement dans les conditions que nous venons d'indiquer, avant de songer à y suspendre des poids.

Lorsque les plateaux et les poids qu'ils peuvent supporter sont suspendus aux extrémités du fléau de la balance, la somme des forces de pesanteur qui les sollicite, s'exerce par une résultante commune, dont la direction est toujours verticale, et qui se trouve appliquée au point de suspension de ces plateaux ; nous n'avons donc point à considérer, dans les conditions d'équilibre, l'influence que ces masses nouvelles peuvent apporter à la situation du centre de gravité de la masse commune du fléau et des poids, et nous devons considérer ces poids comme des forces parallèles agissant sur les extrémités d'un levier.

Les circonstances de l'équilibre absolu de la balance chargée de ses poids restent celles de l'équilibre du fléau isolé ; mais l'influence de la situation des points de suspension devient beaucoup plus considérable. En effet, soit (*fig.* 32) AFB, un le-

vier dont le point de suspension serait placé beaucoup plus bas que ses extrémités; les forces A C et B D étant égales, l'équilibre mathématique pourrait avoir lieu; mais il serait instable, et le plus petit excès d'un côté renverserait tout l'appareil; car, si le point A venait à descendre, le moment de la force A C s'accroîtrait continuellement, jusqu'à ce que ce bras du levier fût arrivé en A′ F, tandis que le moment de la force opposée B D irait toujours en décroissant jusqu'à la position B′ D′. C'est à cette disposition qu'on donne le nom de balance *folle*, ou qui ne peut pas être fixée en équilibre.

Si au contraire le point de suspension était placé beaucoup plus haut que les extrémités du levier, une différence considérable dans les poids deviendrait à peine sensible; car, supposant que le point A (*fig.* 33) vienne à descendre, par l'excès de la force A C, le moment de cette force irait en diminuant, tandis que le moment de la force B D s'accroîtrait rapidement, de façon que l'équilibre serait rétabli par la plus légère inclinaison du bras de levier entre deux forces inégales. Cette dernière disposition, réduite à la moindre quantité possible, est la condition indispensable d'une balance usuelle. Quand elle est trop prononcée, elle constitue le défaut de sensibilité, ou ce qu'on appelle *balance paresseuse*.

Lorsqu'on suspend à un fléau des poids considérables relativement à sa masse propre, la si-

tuation de son centre de gravité au-dessus ou au-dessous du point de suspension devient peu importante, parce que son influence est prédominée par les effets des leviers anguleux dont nous venons de parler; mais lorsqu'un fléau d'une masse assez considérable est destiné à peser de très-petits poids, comme cela arrive dans les balances délicates, la situation de son centre de gravité devient une condition très-importante, puisque son influence ne pourrait pas être compensée par les effets des très-petites forces qui doivent agir sur lui.

On concevra maintenant avec facilité les inconvéniens de la flexion du fléau de la balance, puisque dans cette flexion les points de suspension des plateaux sont abaissés, ce qui élève relativement le point de suspension du fléau. Aussi remarque-t-on qu'une balance sensible à un demi-milligramme quand elle n'est chargée que de quelques grammes, n'est plus sensible qu'à un milligramme quand elle est chargée d'un poids plus considérable.

On construit des balances de toutes les forces et de toutes les dimensions, depuis les fléaux grossiers qui peuvent peser plusieurs milliers de kilogrammes, et qui ne sont sensibles qu'à quelques centaines de grammes, jusqu'aux balances d'essai, qui ne doivent jamais être chargées que d'un kilogramme au plus, et qui indiquent des différences de poids d'un demi et même d'un quart de milligramme.

DE LA ROMAINE.

131. On donne le nom de *balance romaine* à un instrument dans lequel l'équilibre peut être établi entre deux poids inégaux, par la différence des longueurs des bras de levier sur lesquels ces poids agissent. Il est construit sur les principes suivans : soit AG (*fig.* 54), un levier inflexible suspendu par un point fixe situé en F : si l'on attache un corps quelconque P, qu'il s'agit de peser, dans un point A très-voisin du point F ; si d'autre part on dispose un poids *p*, de façon qu'on puisse lui faire parcourir la longueur du bras de levier FG, il est évident que ce petit poids pourra faire équilibre au poids P, si on le place dans un tel endroit que les longueurs des bras de levier soient réciproquement proportionnelles aux masses, en faisant abstraction du poids du levier ; mais comme ce poids est toujours très-réel, on détermine ordinairement par expérience les différens points du bras de levier sur lesquels il faut placer le poids *p* pour qu'il fasse équilibre à 1, à 2, à 3, ou un plus grand nombre de kilogrammes. On voit que, dans cette disposition, le poids qui sert à peser est constant, et qu'on détermine celui du corps que l'on pèse par la longueur du levier. La distance AF est ordinairement très-petite, et alors la romaine ne peut peser que des corps très-lourds ; mais on lui donne quelquefois un double point de suspen-

sion B, dont on se sert en renversant la machine, et alors la distance AB étant double de AF, la machine peut peser des corps moitié moins lourds.

Les règles que nous avons établies en parlant de la balance à bras égaux, pour la situation des points de suspension et du centre de gravité, s'appliquent également à la romaine; mais malgré ces précautions, elle ne peut jamais fournir qu'un équilibre non stable, attendu la grande inégalité des bras de levier. On n'emploie guères cet instrument que pour des pesées approximatives, ou pour de très-grands fardeaux.

On connaît un grand nombre de balances composées, dont le système général se réduit aisément à la romaine simple.

La *balance de Sanctorius* consiste en un plancher carré qui repose par quatre points sur deux leviers angulaires qui reposent eux-mêmes, par leur double extrémité, sur deux points fixes, et par leur angle sur un troisième levier longitudinal, qui fait mouvoir, au moyen d'une tringle, un quatrième levier servant de fléau, et portant un plateau dans lequel il suffit d'employer de très-petits poids, formant, par exemple, la 240e partie du poids total reposant sur le plancher, pour faire équilibre à ce poids. Ce rapport dépend des diverses relations de longueur qui existent entre les différens bras de tous les leviers qui composent la machine.

La *bascule portative* de Quintenz est fondée sur

des principes analogues; mais son plancher porte sur trois points d'appui, dont deux répondent à un levier coudé, tandis que le troisième est directement suspendu au fléau de la balance, aussi bien que l'angle du levier coudé, disposition qui rend la balance très-sensible, et en même-temps susceptible d'un équilibre stable.

DE LA RÉSISTANCE DES CORPS SOLIDES EMPLOYÉS COMME LEVIERS.

132. Nous avons fait sentir, en parlant de la balance, que le fléau, qui en fait la partie essentielle, était susceptible de flexion; mais il y a une foule d'autres circonstances dans lesquelles des corps solides de forme allongée ont à supporter des pressions ou des fardeaux plus ou moins considérables, sous lesquels ils peuvent fléchir ou se rompre. Tel est le cas des poutres ou pièces de bois principales qui entrent dans la construction des édifices. La physique fournit un certain nombre de règles qui peuvent servir à prévoir et à apprécier ces sortes d'effets; nous croyons devoir les indiquer ici.

Le cas le plus simple et le plus ordinaire est celui dans lequel une pièce de bois repose librement sur des points fixes par ses deux extrémités. Le premier effort qu'un semblable levier doit supporter est celui de son propre poids; et en effet, tous les corps placés dans cette position, et le verre

lui-même, malgré sa rigidité, se courbent sensiblement à la longue. On peut considérer la somme des pesanteurs de tous les points du corps, comme agissant par une résultante dans le milieu du levier; et l'on conçoit que les effets en seront d'autant plus marqués que le levier sera plus long, au point que le corps pourra se rompre sous son propre poids : c'est ce qui arriverait à une pièce de bois de chêne de 33 mètres de long sur un décimètre d'équarrissage. On connaît beaucoup d'exemples vulgaires de semblables effets; on sait, par exemple, que les queues de billard ne conservent leur rectitude qu'autant qu'on les place dans une position verticale.

Si, indépendamment de son propre poids, le corps dont nous venons de parler est chargé d'un fardeau plus ou moins considérable, la faculté de le supporter, ou la résistance qu'il opposera à sa rupture, sera toujours, 1°. en raison inverse de sa longueur; 2°. en raison directe de sa largeur; 3°. en raison directe du carré de son épaisseur; c'est-à-dire que si la pièce de bois est moitié plus courte, elle portera un fardeau double; que si la pièce de bois est deux fois plus large, elle portera un fardeau double; que si la pièce de bois est deux fois plus épaisse, elle portera un fardeau quadruple. D'où il résulte que l'on obtient de grands avantages dans les constructions, sous le rapport de l'économie et de la solidité, en employant des pièces de bois d'une grande épaisseur sur une

petite largeur. On voit, en effet, qu'une planche posée à plat fléchit sous le moindre fardeau, tandis qu'en la posant de champ, elle offre une résistance très-considérable.

Si, dans la position que nous avons supposée jusqu'à présent, la pièce de bois vient à se rompre, on conçoit que la fracture aura lieu dans un seul point et dans le milieu de sa longueur ; mais s'il arrive, comme dans la plupart de nos constructions, que la pièce de bois soit solidement fixée par ses deux extrémités dans l'épaisseur d'une muraille, elle ne pourra plus se rompre seulement dans son milieu, et il faudra qu'elle se brise simultanément vers ses deux extrémités. Cette circonstance double à-peu-près la résistance dont elle est susceptible.

Une pièce de bois peut être solidement fixée par une de ses extrémités dans une muraille, et chargée de divers poids. Sa résistance suivra les lois que nous avons indiquées pour les largeurs et épaisseurs ; elle sera moitié moindre que si la pièce était soutenue par les deux bouts. Le maximum de l'effet de la puissance aura lieu dans le point qui touche la muraille. De-là vient la nécessité de soutenir la pièce de bois dans ce point, ou d'en augmenter l'épaisseur, comme on le fait au moyen de ce qu'on nomme *consoles* ou *liens*.

La résistance à la fracture dépendant essentiellement du diamètre du corps, comme nous l'avons indiqué en parlant de la flexibilité, on

pourra obtenir une solidité supérieure avec la même quantité de matière, en l'écartant de l'axe du corps et la disposant en cylindre creux. Cet effet est si prononcé, qu'à poids égal, un cylindre creux peut offrir une résistance dix fois plus grande qu'un cylindre solide. Les os des animaux et les plumes des oiseaux sont des exemples frappans de cet artifice mécanique.

DE LA POULIE.

133. La poulie est une machine simple, fort usitée dans les arts mécaniques. Elle consiste en un cylindre fort court, qui porte à son centre un axe solide autour duquel il peut tourner librement ; cet axe est supporté par ses deux extrémités au moyen d'une *chappe*. La circonférence de ce cylindre porte un enfoncement demi-circulaire que l'on nomme la gorge de la poulie, et qui peut recevoir une corde. Si l'on se représente une semblable machine suspendue par sa chappe comme dans la *fig.* 35, on concevra qu'elle doit rester indifféremment en équilibre dans toutes les situations, puisque l'axe passera à la fois par le centre de gravité et par le centre de figure.

Si l'on suppose qu'une corde soit passée dans la gorge de la poulie, et qu'à chacune de ses extrémités soient attachés des poids égaux C et D, il est évident que ces poids seront en équilibre, car le point fixe est en F, et les bras de levier sont

FA et FB, c'est-à-dire deux rayons d'un cercle, et par conséquent nécessairement égaux. La poulie représente donc pour le moment le fléau d'une balance. Mais si l'un des deux poids vient à monter ou à descendre, la corde fera mouvoir la poulie sur son axe; et à cause de la figure circulaire, les deux bras de levier FA et FB changeront continuellement, mais en restant toujours d'une longueur égale. On peut donc définir la poulie un levier à bras égaux, dans lequel les momens des forces sont invariables, quelque mouvement qu'on lui imprime.

Non-seulement les choses sont ainsi quand les deux forces opposées sont parallèles, mais même lorsqu'elles forment des angles quelconques. On voit, en effet, que si la force BD est transportée en B′D′, elle agira perpendiculairement au bout du levier FB′, qui sera encore un rayon de la poulie.

La machine que nous venons de décrire a donc pour avantage, lorsqu'elle est fixée par sa chappe, de changer à volonté la direction des forces sans leur faire rien perdre de leur intensité, si ce n'est par le frottement inévitable qui se passe dans l'axe. Elle est appliquée, dans cet état de simplicité, à un grand nombre d'usages vulgaires, et particulièrement pour faciliter l'extraction de l'eau des puits, en permettant à l'homme de tirer la corde de haut en bas, ce qui est avantageux à l'emploi de sa force propre.

On se sert aussi de portions de poulies adaptées à l'extrémité de certains leviers, pour donner de la fixité au mouvement des puissances qui agissent au bout de ces leviers.

Si l'économie animale ne présente pas d'exemple d'une poulie mobile sur un axe, elle offre un grand nombre de dispositions qui s'en rapprochent beaucoup par leurs effets. On donne même le nom de *poulies cartilagineuses* à quelques surfaces articulaires, comme celles qu'on remarque à l'extrémité inférieure de l'humérus. Dans ce cas, comme dans celui de la tête sphérique et des condyles du fémur, des surfaces polies et presque circulaires tiennent les parties mobiles qui sont en rapport avec elles à une distance constante du centre des mouvemens, et donnent ainsi de l'uniformité à l'action des forces qui les entraînent. Seulement ici, et pour suivre la comparaison, c'est en quelque sorte la corde qui glisse sur la poulie, et non la poulie qui tourne avec la corde. C'est ainsi que le tendon commun des extenseurs de la jambe glisse avec la rotule sur la gouttière que forme antérieurement la réunion des condyles du fémur.

Un simple changement de situation suffit pour donner à la poulie un avantage d'un autre ordre et d'une grande importance. Si le corps qu'il s'agit de soulever, ou la puissance qu'il s'agit de vaincre, est appliquée à la chappe de la poulie (*fig.* 36), cette chappe étant tournée en bas, si l'une des

extrémités D de la corde est attachée à un point fixe, et si l'on exerce sur l'autre extrémité E une puissance capable de faire équilibre au poids, on verra que la poulie représente alors un levier du second genre; que le point A peut être considéré comme le point d'appui ; que le point F répond à la résistance, et que la puissance est appliquée au point B ; en sorte que la puissance devra être à la résistance en raison inverse de leurs bras de levier, ou comme FA est à BA ; d'où il suit que la puissance sera moitié de la résistance.

On voit que dans cette disposition de la poulie, on peut faire équilibre à un poids ou à une résistance donnée, avec une puissance qui n'ait que la moitié de son intensité, et que le point fixe supporte exactement l'autre moitié.

Si dans l'état d'équilibre que nous venons de décrire, l'extrémité E de la corde est tirée de bas en haut, le chemin parcouru par le point E sera double du chemin parcouru par le point F ou par la résistance elle-même, ce qui se déduit des longueurs des bras de levier, et ce qui devient sensible en considérant que si le point F doit s'élever d'un décimètre, il devient nécessaire que chacun des côtés de la corde soit raccourci d'un décimètre, ce qui exige que le point E, qui est seul mobile, s'élève de deux décimètres.

Dans l'application importante que nous venons d'indiquer, il est essentiel de remarquer que le

poids de la poulie et de sa chappe s'ajoutent toujours au poids qu'il s'agit de soulever.

Nous avons supposé le parallélisme des deux portions de la corde qui passe sur la poulie, et c'est le cas dans lequel une puissance donnée produit le maximum d'action, puisqu'elle agit perpendiculairement au levier AB ; et l'on conçoit que si le point fixe était en D′, et la puissance appliquée au point E′, il faudrait employer, pour vaincre la résistance, une force d'autant plus grande que l'obliquité serait plus marquée ; car si la corde devenait droite et horizontale comme en B″ D″, la puissance n'aurait plus aucune action pour élever la poulie.

Si les directions des cordes se croisaient au-dessus de la poulie, et que les extrémités devinssent D‴ E‴, la force perdrait de son énergie dans les mêmes proportions et pour les mêmes raisons.

Il est presque superflu de remarquer que dans quelque situation que soient les deux cordes AD et BE, la chappe de la poulie prendra une direction verticale, qui divisera en deux parties égales l'angle quelconque que les deux cordes pourront former entre elles.

Les réverbères suspendus dans les rues de la capitale offrent un exemple de l'emploi de la poulie simple dans le sens dont nous venons de parler. Une corde (*fig.* 37) est tendue et fixée d'une maison à l'autre ; une seconde corde est fixée sur la première au point D ; elle passe en F dans une

poulie attachée au réverbère; elle remonte et va passer sur une seconde poulie fixée au point E, puis sur une troisième fixée à la muraille au point E′, où s'exerce l'action qui doit élever le réverbère. La poulie F donne un avantage de moitié à la puissance employée; les poulies E et E′ ne servent qu'à en changer la direction pour en rendre l'application plus commode.

DU TREUIL.

134. Si l'on conçoit une poulie portée sur un axe fixe, et qui, sur son épaisseur, présente plusieurs gorges circulaires de différens diamètres, on trouvera dans cette disposition le moyen de faire équilibre à une résistance donnée par des puissances très-variables; et l'on pourra, en quelque sorte, établir à volonté toute sorte de rapports entre la puissance et la résistance. Ainsi (*fig.* 38), le poids D dont la corde agit au bout du rayon FB de la plus grande poulie, peut, à volonté, faire équilibre au poids C qui lui est égal et qui agit au bout du levier FA égal à FB, au poids C′ qui est double et qui agit au bout du rayon FA′, moitié de FB, et au poids C″ qui est quadruple, et qui agit au bout du rayon FA″ qui n'est que le quart de FB. On peut porter ces différences très-loin; en sorte que le rayon FB soit celui d'une très-grande roue, et le rayon FA″ celui d'un cylindre d'un petit diamètre. C'est ce qui constitue

les machines nommées *treuil*, *tour*, *cabestan*, etc. ; et l'on conçoit que dans ce cas, comme dans tout autre, les chemins parcourus sont en raison directe des bras de levier, puisque la grande roue décrit toute sa circonférence dans le même temps qu'un point du petit cylindre décrit la sienne. La mécanique appliquée donne un grand nombre de dispositions variées aux différentes parties de cette machine. Ainsi, la grande roue peut être garnie à sa circonférence d'une suite d'échelons sur lesquels un homme appuie les pieds et les mains, comme dans la roue des carrières : le cylindre peut être placé verticalement et traversé par deux grands leviers qui se croisent à angles droits, et à l'extrémité desquels s'applique la puissance, etc.

DES MOUFLES.

135. On a imaginé de réunir un certain nombre de poulies dans des machines qu'on nomme *moufles*, et qui ont pour objet de diminuer considérablement l'intensité de la force nécessaire pour vaincre une résistance donnée. On prendra une idée claire de la composition des forces, dans ces sortes de machines, par celle qui est dessinée (*fig.* 39). On voit que, pour la première poulie A qui porte le poids C, la moitié du poids est supportée par le point fixe F où se trouve attachée la corde, et que l'autre extrémité D de cette corde n'a plus à vaincre que la moitié de l'effort. Mais

cette extrémité est attachée à la seconde poulie A′, par laquelle la moitié de cet effort est transportée au second point fixe F′, en sorte qu'il ne faut plus que le quart de la force à l'autre extrémité D′ de la corde. Mais cette extrémité étant encore attachée à une troisième poulie A″, la moitié de ce quart est reportée à un troisième point fixe F″, et l'autre extrémité de la corde D″ pourra être mue par un huitième du poids primitif. Enfin, cette corde pourra passer sur la poulie fixe K pour ramener la direction de la force agissante en D‴. On dit que les trois poulies A, A′, A″ sont mouflées, et que la puissance nécessaire pour soulever un poids donné sera diminuée de moitié à chaque poulie employée, et sera par conséquent la moitié, le quart, le huitième ou le seizième de la résistance, suivant qu'on aura employé une, deux, trois ou quatre poulies. Le moufle que nous venons de décrire, très-commode pour concevoir la théorie de ses effets, serait fort incommode dans l'usage habituel, à cause de la multiplicité de ses points fixes et du grand espace qu'occupent les poulies. On emploie de préférence ceux qui sont dessinés (*fig.* 40 et 41), parce qu'ils n'exigent qu'un seul point fixe et occupent très-peu de place. Leur théorie est absolument la même, en faisant attention que toutes les poulies qui tiennent au point fixe n'ont aucune influence sur le rapport de la force à la puissance, et ne servent qu'à renvoyer successivement la même corde sur toutes

les poulies inférieures qui constituent véritablement le moufle.

DU PLAN INCLINÉ.

136. Le plan incliné, dont nous avons donné la théorie (71), est employé dans sa simplicité à un assez grand nombre d'usages. Ainsi une route suivant directement la pente escarpée d'une montagne serait tout-à-fait impraticable; mais en lui faisant décrire des sinuosites, on augmente la longueur du plan incliné sans rien changer à sa hauteur; on diminue par conséquent dans la même proportion l'intensité de la force qui tendrait à faire descendre les corps le long de ce plan incliné, et conséquemment la puissance nécessaire pour les élever le long du même plan. S'il est question d'élever un fardeau reposant sur le sol pour le placer sur une charrette, on dispose un plan incliné formé de deux pièces de bois parallèles, et qui conduit le fardeau du niveau du sol à celui de la voiture, en sorte qu'il n'est plus nécessaire de vaincre la totalité du poids du corps, mais seulement la portion relative à l'inclinaison plus ou moins grande du plan incliné. La voiture est quelquefois susceptible de se renverser à volonté pour constituer elle-même le plan incliné. Ces applications simples sont d'un faible avantage en comparaison d'une des machines les importantes qui existent, qui porte le nom de *vis*, et qui se réduit en réalité à plusieurs plans inclinés.

DE LA VIS.

137. On donne le nom de *vis* à un corps cylindrique de bois ou de métal, à la surface duquel on a tracé circulairement une hélice régulière formant un enfoncement angulaire, carré, ou arrondi, de manière à laisser entre chaque tour de l'hélice une saillie corrrespondante, comme on le voit (*fig.* 42). Cette pièce cylindrique ainsi travaillée s'introduit dans une autre pièce creuse qui se nomme l'écrou, et dans l'intérieur de laquelle se trouvent des saillies et des enfoncemens qui répondent exactement aux enfoncemens et aux saillies que présente la vis. Dans cet état de choses, si la vis est fixée, et qu'on fasse décrire une circonférence à l'écrou, il changera de place suivant l'axe de la vis, et avancera précisément de l'intervalle qu'il y a d'un tour de l'hélice à l'autre. Le même effet aura lieu pour la vis, si l'écrou est fixé.

On conçoit aisément que la portion d'hélice qui forme ce qu'on appelle un pas de la vis, représente un plan incliné contourné circulairement autour du noyau de la vis, et l'on peut s'en faire une idée sensible, en considérant l'escalier d'une tour, qui est une véritable vis disposée de manière que l'on puisse marcher sur la face supérieure de l'hélice saillante. On s'élève peu à peu en parcourant cet escalier, jusqu'au sommet de la tour, comme on ferait le long d'uu plan incliné qui aurait pour

hauteur celle du bâtiment, et pour longueur le développement rectiligne de toute l'hélice qui compose l'escalier. Il en est absolument de même pour une vis quelconque, car on voit (*fig.* 42) qu'un seul pas de vis développé en ligne droite donne un plan incliné *a b*, qui se trouve parcouru quand la vis ou l'écrou ont décrit l'un sur l autre un tour entier.

S'il existe une résistance qui s'oppose à la marche de l'écrou de D en A, et une puissanee appliquée à l'extrémité E d'un levier qui fasse tourner l'écrou, la résistance pourra être considérée comme un poids qui serait posé sur le plan incliné *a b*, tandis que la puissance qui fait tourner l'écrou pourra être considérée comme une force tendant à élever le poids le long du plan incliné, c'est-à-dire que la résistanee sera à la puissanee comme la longueur du plan incliné, qui est le développement d'un pas de vis, est à la hauteur de ce plan incliné, qui n'est autre chose que l'intervalle d'un pas de vis à l'autre.

Il faut remarquer que dans le mouvement des écrous sur leurs vis, il existe un frottement très-considérable qui fait perdre une grande partie de la puissanee employée, mais qui est précisément la cause d'un des plus grands avantages de cet instrument. En effet, s'il n'y avait que très-peu de frottement dans le mouvement de la vis, après qu'on l'aurait employée à serrer fortement ou à fixer solidement certains corps, la puissance ces-

sant d'agir, la vis ou l'écrou redescendraient le plan incliné qu'on leur a fait monter, et l'action cesserait; tandis que le frottement s'accroissant à mesure que la vis est plus serrée, celle-ci reste en place, comme il arrive aux vis dont on se sert pour fixer les serrures et autres garnitures de fer, dont on fait un si fréquent usage.

Il résulte de ce que nous venons de dire, que la vis doit avoir d'autant plus de force comme moyen mécanique, que le pas de vis est plus fin, et que les chemins parcourus sont en raison inverse. Il arrive quelquefois que l'on trace simultanément plusieurs hélices sur une même vis, leur plan incliné est alors beaucoup plus rapide; c'est ce qu'on voit dans les vis des balanciers.

Les usages de la vis sont si multipliés et si connus que nous nous contenterons d'en citer deux.

On emploie des vis très-fines et très-régulièrement construites, pour produire, dans les machines exactes, des mouvemens réguliers dont on peut ainsi mesurer précisément l'étendue, même dans ses plus petites divisions. Si, par exemple, une vis était faite sur un pas d'un dixième de ligne, qu'une de ses extrémités portât une aiguille répondant à un cadran, et si la circonférence de ce cadran était divisée en cent parties, chacune d'elles répondrait à un déplacement de la vis de un millième de ligne; et comme les arts possèdent des moyens certains d'obtenir des vis extrêmement fines et régulières, cette méthode présente un des moyens les

plus précieux pour diviser l'étendue avec délicatesse et précision.

Archimède a fait de la vis une application toute particulière dont nous parlerons en traitant du mouvement des fluides.

DU COIN.

138. Le coin est une machine extrêmement simple, d'un grand usage, et dont la théorie se déduit naturellement de celle du plan incliné. Si nous supposons en effet (*fig.* 43), un coin DCB, actuellement employé à écarter deux moitiés d'une pièce de bois, nous pouvons le considérer comme présentant deux plans inclinés adossés l'un à l'autre, et dans l'effet qu'on veut produire il s'agit de porter les points a, b, vers les sommets D et B des plans inclinés. Ce sera sur la tête du coin qu'on appliquera ordinairement la puissance qui doit produire cet effet; mais les choses se passeront de la même manière que dans le cas contraire, et il est évident que la force à employer devra être à la résistance à vaincre comme la somme des hauteurs des plans inclinés, ou la largeur de la tête du point sera à sa longueur. On observera aussi que le frottement deviendra d'un grand secours pour maintenir le coin dans le point où il aura été introduit, en attendant qu'un second effort le pousse plus loin : aussi voit-on que des coins trop polis sont rejetés au dehors après avoir été enfoncés par la percussion dans une pièce de bois.



Outre les usages vulgaires des coins proprement dits, une foule d'instrumens agissent de la même manière, comme la plupart des outils de menuiserie et des instrumens tranchans. Les dents de la scie elle-même ne sont pas sans analogie avec la machine simple dont nous venons de parler.

DES MACHINES COMPOSÉES.

139. Le génie de l'homme a modifié et combiné de tant de manières différentes les machines simples, dont nous avons essayé de donner une idée, que les machines composées sont devenues innombrables. Néanmoins il est toujours possible de décomposer par la pensée ces grandes combinaisons et d'y reconnaître les élémens simples dont nous avons parlé. Par exemple, les roues dentées sont des espèces de poulies qui se mettent en mouvement les unes par les autres, en s'accrochant en quelque sorte par leur circonférence; et l'on conçoit que les rapports des forces aux puissances dépendent des rayons de ces roues ou du nombre des dents qu'elles portent à leur circonférence, si ces dents sont égales dans les différentes roues.

La division du temps que présentent avec tant d'exactitude nos belles horloges, est obtenue par des rouages de cette espèce; mais il entre de plus dans leur composition une foule de leviers, de vis et même des treuils et des poulies ordinaires ou

mouflées. Il n'entre pas dans notre sujet de décrire en particulier aucune de ces constructions complexes ; il nous suffit d'avoir indiqué la nature de leur composition.

DES CORPS SOLIDES LIBRES EN MOUVEMENT.

140. Les corps solides ayant une figure, un volume, une masse et un centre de gravité, ces différentes circonstances doivent entrer en considération, quand on s'occupe du mouvement que peut prendre un corps solide sollicité par une ou plusieurs puissances. On conçoit en effet qu'une seule puissance, ou la résultante de plusieurs, peut passer par le centre de gravité du corps ou par tout autre point de son volume, et que plusieurs puissances peuvent se trouver appliquées à différens points de la figure du corps, dans des directions variables et à différentes distances du centre de gravité. Ce qui donne lieu à différens genres d'effets que nous allons successivement passer en revue.

Pour l'intelligence de ces effets, il est nécessaire de remarquer que le centre de gravité, qui est déterminé par la situation de la résultante des forces de la pesanteur, joue un rôle très-important dans les mouvemens réels des masses matérielles. Le déplacement qu'elles éprouvent s'estime par le chemin réel que le centre de gravité a parcouru. Dans ce déplacement, toutes les parties du

corps peuvent se mouvoir simultanément avec le centre de gravité; mais il peut arriver aussi que toutes les parties du corps se meuvent circulairement autour de ce centre de gravité qui demeure immobile, et même encore que le centre de gravité se meuve dans une direction avec toutes les particules du corps, tandis que d'une autre part ces particules se meuvent circulairement autour du centre de gravité.

Toutes ces circonstances, qui font du centre de gravité une sorte de point fixe pour les mouvemens des autres parties du corps, lui ont fait donner le nom de *centre d'inertie*. Nous nous contenterons d'exposer successivement les différens cas de mouvement d'un corps solide, considérant ces propositions comme démontrées par des méthodes dans le détail desquelles il ne nous est pas permis d'entrer.

1°. Lorsqu'une seule force ou une seule résultante de plusieurs forces passe par le centre de gravité ou d'inertie d'un corps solide, le corps se meut dans la direction de cette force et sans rotation. C'est le cas d'une bille élastique tombant sur un plan horizontal et se réfléchissant.

2°. Si un corps solide est sollicité par deux forces égales opposées, et appliquées à des distances égales du centre d'inertie, ce que nous avons appelé un couple de forces, le centre d'inertie reste en repos, et le corps tourne autour de lui comme autour d'un point fixe.

Soit, par exemple, le cercle C (*fig.* 44), sollicité par les forces AB et DE; le point C restera immobile, et le cercle entier prendra un mouvement de rotation.

3°. Si un corps solide est sollicité par une seule force qui ne passe point par le centre d'inertie, il en résultera deux mouvemens, l'un de translation du centre d'inertie, et l'autre de rotation du corps autour de ce centre. Soit, par exemple, (*fig.* 45), une force AB appliquée vers le milieu du rayon d'un cercle; elle tendra à faire tourner ce cercle autour de son centre; mais dans ce mouvement virtuel, elle trouvera, dans l'inertie même du corps, une puissance antagoniste que l'on pourra exprimer par la ligne DE, et la résultante de ces deux forces fera mouvoir le centre de gravité suivant la ligne CK. Mais il restera à la force AB un surcroît d'intensité exprimé par BB′, qui sera employé à faire tourner le corps autour du point C.

On conçoit que la vitesse de rotation sera d'autant plus grande que le point d'application de la force sera plus éloigné du centre de gravité, et que le déplacement de ce centre sera d'autant moindre.

4°. Tout corps solide qui contracte un mouvement de rotation l'exécute nécessairement autour d'une ligne qui traverse sa masse et qu'on nomme *axe de rotation.* Cet axe de rotation peut être fixe ou en mouvement, puisque nous avons vu que

la rotation pouvait avoir lieu pendant l'immobilité du centre de gravité ou pendant que lui-même était transporté dans l'espace.

5°. Lorsqu'un corps commence à tourner, par suite d'une impulsion, autour d'une ligne quelconque, il peut arriver deux cas différens ; le corps peut continuer indéfiniment à tourner autour de la même ligne, ce que l'on nomme *axe de rotation permanent* ; ou bien l'axe de rotation peut changer successivement dans le corps qui tourne, jusqu'à ce qu'il se fixe dans une direction nouvelle ; on dit alors que l'axe de rotation est *instantané*.

6°. Il est des conditions qui déterminent la permanence de l'axe de rotation ; en effet, on conçoit que, pour produire cette permanence, il est nécessaire que toutes les particules situées de l'un et de l'autre côté de l'axe prennent, en tournant, des forces centrifuges égales ; sans quoi ces nouvelles puissances ne se faisant pas équilibre, dérangeraient bientôt la direction de l'axe de rotation. Or cette égalité de forces centrifuges ne peut exister qu'autant que les particules sont situées symétriquement à des distances égales de l'axe de rotation, distances qui déterminent l'égalité des vitesses, et par conséquent celle des forces centrifuges. Il est facile de conclure des précédens raisonnemens, qu'un corps solide présente toujours trois directions passant par le centre de gravité autour desquelles les forces centrifuges sont

égales, et qui pourront devenir des axes *permanens* de rotation.

On conçoit aussi que les corps symétriques pourront avoir un beaucoup plus grand nombre d'axes de rotation fixes. C'est ainsi que pour la sphère tous les diamètres remplissent cette condi tion, tandis que pour un ellipsoïde de révolution, l'axe de révolution et tous les diamètres perpendiculaires à cet axe sont des axes de rotation fixe.

Ces propositions un peu abstraites deviendront claires en les appliquant à des surfaces tournant autour d'une ligne.

Le cercle (*fig.* 46) pourra tourner constamment autour des lignes AB, CD, ou tout autre de ses diamètres, puisque de chaque côté de chacun de ces diamètres il se trouvera toujours deux demi-circonférences parfaitement égales.

L'ellipse (*fig.* 47) pourra tourner constamment autour des diamètres AB et CD ; mais l'axe oblique EF ne pourra devenir un axe de rotation fixe ; car les forces centrifuges qui s'établiront à l'extrémité des lignes *a b*, *c d*, concourront à déplacer cet axe jusqu'à ce qu'elles l'aient amené dans la direction AB, attendu qu'en opposition à la force centrifuge qui agit au bout de la ligne *a b*, il s'en trouve une beaucoup plus faible qui agit au point *c*, comme en opposition à la force centrifuge qui s'établit au point *d*, il s'en établit une beaucoup plus faible au point *f*, tandis que pour la ligne AB toutes les forces centrifuges opposées sont égales. On

déduit encore de l'inspection de cette figure, que le mouvement de rotation est stable quand les momens des forces centrifuges sont un *maximum* ou un *minimum*; le *maximum* ayant lieu quand la rotation se fait autour du petit axe, et le *minimum* quand elle se fait autour du grand.

7°. Un corps peut prendre momentanément un mouvement de rotation autour d'un axe qui ne doit pas rester permanent, et qu'on appelle *instantané*. Pour concevoir cet effet, supposons une ligne pesante A B; imaginons qu'au point A soit appliquée une force A D capable d'imprimer à ce point une vitesse mesurée par cette ligne elle-même; et supposons qu'au point B soit appliquée une force opposée capable d'imprimer à ce point une vitesse double exprimée par la ligne B E. Il est évident que le mouvement de la ligne pesante ne pourra avoir lieu qu'autour d'un point, lequel sera le point C, dont les distances aux points A et B seront proportionnelles aux vitesses des deux forces; mais ce point C n'étant pas le centre de gravité de la ligne A B, si les deux forces A D et B E cessent d'agir, les forces centrifuges C B l'emporteront sur les forces centrifuges C A, et déplaceront le centre de gravité dans l'espace, jusqu'à ce que la rotation s'établisse autour du point C', auquel cas ce point deviendra immobile, et la rotation continuera indéfiniment. C'est ce qui arrive à un bâton lancé en tournant dans l'espace : la main lui imprime d'abord un mouvement de

rotation autour de l'une de ses extrémités ; mais il finit bientôt par tourner autour du milieu de sa longueur. Des effets analogues arrivent à tous les corps solides qui commencent par tourner autour d'un axe instantané.

8°. Lorsqu'un corps circule autour d'un axe permanent de rotation, les déplacemens de totalité que ce corps peut éprouver dans l'espace, ne changent en rien la direction de l'axe, et toutes les impulsions nouvelles qu'il peut recevoir ne sauraient non plus déranger cet axe, pourvu qu'elles passent par le centre de gravité. C'est ainsi que deux billes qui se choquent en tournant, continuent à tourner dans le même sens, quoiqu'elles se meuvent, après leur choc, dans des directions opposées.

141. Les mouvemens des planètes offrent de grands exemples des circonstances et des lois que nous venons d'exposer. Ainsi la terre est un ellipsoïde qui tourne sur un axe de rotation fixe. Son mouvement de rotation est stable, parce que le moment des forces centrifuges est un *maximum*, la rotation se faisant sur un petit axe de l'ellipsoïde. L'attraction que le soleil et les planètes exercent sur elle ne dérangerait en rien la situation de cet axe, si la terre était sphérique ; mais comme la résultante de toutes les puissances d'attraction ne passe pas toujours par le même point du globe, dans les différens rapports de situation de la terre

avec le soleil et les autres corps célestes, l'axe de rotation de la terre, qui est toujours le même par rapport à sa masse, éprouve de légers déplacemens par rapport aux étoiles fixes ; c'est ce qu'on nomme *nutation* de l'axe de la terre.

A part le cas des planètes, il est très-peu d'exemples de corps solides libres que l'on puisse choisir pour confirmer par des expériences les lois précédentes, attendu que la pesanteur, sollicitant tous les corps, vient toujours compliquer les phénomènes; cependant en détruisant la pesanteur par une simple suspension, on obtient quelques résultats sensibles.

Soit, par exemple, le plan AB (*fig.* 49), situé horizontalement et suspendu par son centre au moyen d'un fil CF. Si on lui imprime une impulsion dans la direction AB, qui passe par son centre de gravité ou d'inertie, il se mouvra sans rotation; si l'impulsion est donnée suivant la direction A'B', qui ne passe pas par le centre de gravité, le plan exécutera un mouvement de translation et tournera en même temps autour du point C comme centre.

Si l'on place une masse pesante auprès de la circonférence du cercle, celui-ci ne pourra plus tourner autour du point C comme centre, mais bien autour du point C', et le fil de suspension devra être placé en C'F'. Dans cet état, le mouvement de rotation du plan paraîtra extrêmement

irrégulier, attendu la différence de longueur des lignes C′A et C′B; mais il n'en sera pas moins permanent autour du point C′.

Il existe une circonstance vulgaire qui rend très-sensible l'existence, la situation et les déplacemens des axes de rotation: c'est celle où des corps pesans tournent avec rapidité sur un pivot qui repose sur une surface unie; les tontons, les toupies, les sabots, qui servent de jouets aux enfans, présentent ces dispositions. Ces petits instrumens sont symétriques autour d'un axe de rotation verticale; cet axe de rotation présente ordinairement un *minimum* des forces centrifuges, aussi est-il permanent et se replace-t-il toujours dans la verticale malgré les chocs ou les dérangemens que la machine peut éprouver en tournant. On peut toujours disposer un corps solide régulier de manière à pouvoir le faire pirouetter sur ses trois axes principaux; si deux corps de cette espèce, tournant avec beaucoup de vélocité, viennent à s'entrechoquer, ils se repoussent avec une grande violence, se déplacent tous deux rapidement dans l'espace; mais l'axe de rotation n'est pas dérangé et se meut parallèlement à lui-même. On peut, à l'aide de ces instrumens vulgaires, répéter beaucoup d'expériences propres à éclaircir la question qui nous occupe.

Une circonstance remarquable, c'est que, dans un quelconque de ces corps tournans, il arrive presque toujours ou que la forme n'est pas régulière, ou que la densité n'est pas la même; en sorte qu'ils

ne seraient pas en équilibre si on les posait verticalement et sur leur pointe. Et d'ailleurs, fussent-ils réguliers et homogènes, cet équilibre serait du genre de ceux que nous avons appelés non-stables; tandis qu'animés d'un mouvement rapide de rotation, tous ces corps persistent dans la position verticale, malgré d'assez grands efforts que l'on tenterait pour les renverser. On conçoit ce phénomène en considérant, 1°. qu'en supposant que le corps fût plus pesant d'un côté que de l'autre, il devrait tomber de ce côté, mais avec une vitesse initiale très-petite, tandis que ce même point se trouve rapidement transporté du côté opposé; en sorte que l'on peut dire que le corps n'a jamais le temps de tomber ni d'un côté ni de l'autre; 2°. en faisant attention que les forces centrifuges qui animent les différentes parties du corps tournant sont extrêmement considérables et ont une direction perpendiculaire à l'axe, tandis que la pesanteur agit presque parallèlement à ce même axe, et doit perdre beaucoup de son influence.

MOUVEMENT D'UN CORPS SOLIDE FIXÉ PAR UN POINT OU PAR UN AXE.

142. Lorsqu'un corps solide est fixé par un point, les forces se composent autour de ce point, comme nous l'avons établi (124), et il y a mouvement, si la résultante ne passe pas par le point fixe, ou si les forces se réduisent à un couple. Ce

mouvement est nécessairement une rotation autour du point fixe, et les chemins parcourus, où les vitesses des différens points du corps, sont proportionnelles à la distance où elles se trouvent d'un certain axe de rotation qui s'établit toujours, et qui passe nécessairement par le point fixe; cet axe de rotation pourrait être lui-même instantané ou permanent, s'il n'y avait réellement qu'un seul point de fixe; mais ce cas est presque idéal.

Il n'existe qu'un seul cas important de mouvement d'un corps solide fixé par un point, et c'est celui du pendule.

143. Nous avons établi les lois de l'oscillation d'un pendule supposé simple, c'est-à-dire, formé d'un seul point matériel attaché au bout d'un fil sans pesanteur suspendu lui-même à un point fixe. Mais il est facile de concevoir que ce cas n'existe jamais en réalité, et qu'il y a toujours, dans la longueur d'un pendule, des masses matérielles situées à différentes distances du point fixe, et dont les vitesses d'oscillation sont très-différentes les unes des autres. En effet, supposons (*fig.* 50) un pendule formé de deux masses A et B suspendues au point F, de façon que la longueur AF soit moitié de la longueur BF : si chaque masse pouvait osciller librement, les mouvemens de la masse A seraient beaucoup plus rapides que ceux de la masse B. Mais si, comme il arrive dans tous les pendules matériels et solides, les masses A et B sont unies par une tige

inflexible, elles seront forcées de faire leurs oscillations dans le même temps, et par conséquent la masse A sera retardée dans sa marche, et la masse B sera accélérée. En conséquence la vitesse des oscillations du pendule sera plus grande que celle de la masse B isolée, et plus petite que celle de la masse A isolée; la longueur de pendule qui correspondra à la vitesse du pendule composé sera plus petite que FB et plus grande que FA; il y aura donc entre A et B un certain point C qui marquera la longueur d'un pendule simple qui battrait dans le même temps que le pendule composé. On démontre que le point C, qu'on appelle *centre d'oscillation* du pendule composé, est toujours placé au-dessous du centre de gravité de ce pendule.

Les géomètres ont trouvé des formules générales, à l'aide desquelles on peut toujours déterminer la longueur d'un pendule simple correspondant à un pendule composé dont on connaît le poids et la figure.

Si l'on suppose d'abord que des masses A et B soient placées sur la longueur du pendule, et qu'elles ne présentent pas elles-mêmes de volumes sensibles, on trouve la formule $x = \frac{Aa^2 + Bb^2}{Aa + Bb}$; x est la longueur cherchée du pendule simple, A l'une des masses, a sa distance au point de suspension, B l'autre masse, b sa distance au point de suspension; c'est-à-dire, qu'il faut multiplier chaque masse par le carré de sa distance au point

de suspension, ajouter ces produits et diviser par la somme des produits des masses par leurs distances au point de suspension.

On obtient encore une formule plus générale que la précédente, et qui donne $x = \frac{a^2 + k^2}{a}$; x est toujours la longueur cherchée, a est la distance qui se trouve entre le centre de gravité de la masse du pendule et son centre de suspension; k^2 est l'expression de ce que l'on nomme *moment d'inertie* de la masse autour de son centre de gravité considéré comme axe de rotation, divisé par la masse. Ce moment d'inertie s'obtient en multipliant chaque partie de la masse commune par le carré de sa distance à l'axe de rotation.

On voit que dans la première formule chaque partie de la masse est considérée à part et relativement à sa distance au point de suspension, sans parler du centre de gravité commun de ces masses. Dans la seconde, au contraire, on fait usage et du centre de gravité et de sa distance au point de suspension. C'est pourquoi il est devenu nécessaire d'y introduire l'expression du moment d'inertie de toutes les particules matérielles relativement au centre de gravité.

On peut, pour en démontrer l'exactitude et l'accord, essayer dans des suppositions très-simples, l'application de ces formules à la détermination de la longueur du pendule simple correspondant à un pendule composé. Soit toujours (*fig.* 50) le

pendule formé de deux masses qui n'ont pas de volumes. Supposons la longueur FB égale à 12, la longueur FA égale à 6, la masse A égale à 3, la masse B égale à 3. Dans la première formule

$x = \frac{Aa^2 + Bb^2}{Aa + Bb}$, a égale 6, b égale 12; on a donc

$x = \frac{3 \times 36 + 3 \times 144}{3 \times 6 + 3 \times 12} = 10$. En appliquant l'autre formule, il faut d'abord chercher la valeur de K^2, c'est-à-dire multiplier les deux masses A et B chacune par le carré de leur distance au centre de gravité, qui est 3, ce qui donne $3 \times 9 = 27$, plus $3 \times 9 = 27$ ou 54, qu'il faut diviser par la masse totale égale à 6, ce qui donne K^2 égale à 9: Prenant maintenant la formule $x = \frac{a^2 + k^2}{a}$, dans laquelle a représente la distance du centre de gravité au point de suspension qui est ici égale à 9, on a $x = \frac{81 + 9}{9} = 10$.

L'application que nous venons de faire est en quelque sorte idéale, puisque deux masses A et B auront toujours un volume quelconque, et puisque tous les pendules composés ont un volume considérable. Lorsqu'il est question d'un semblable corps de poids et de volume déterminés, il est nécessaire de considérer d'abord toutes les particules matérielles, ainsi que leur distance à

l'axe qui passe par le centre de gravité; mais il faut ensuite faire usage du calcul intégral pour ramener les formules à des expressions qui ne contiennent plus que des valeurs susceptibles de mesure dans le solide même auquel on a à faire. On a trouvé par ces méthodes que le centre d'oscillation d'un cylindre régulier et homogène suspendu par une extrémité, est placé à l'endroit où les deux tiers supérieurs du cylindre se réunissent au tiers inférieur, et que si ce même cylindre était suspendu par ce centre même d'oscillation, son extrémité deviendrait le centre nouveau d'oscillation.

On a trouvé par les mêmes méthodes que le centre d'oscillation d'un triangle isocèle suspendu par son sommet est aux trois quarts de sa hauteur, et que celui d'un cercle est aux trois quarts de son diamètre.

Le centre d'oscillation d'une sphère suspendue à un fil est à une distance du point de suspension égale à $l + \frac{2r^2}{5l}$, l étant la distance du centre de la sphère au point de suspension, et r le rayon de cette sphère.

144. Avec quelque exactitude que l'on ait déterminé, soit par le calcul, soit par des expériences comparatives directes, les longueurs et la durée des oscillations d'un pendule composé, cet instrument peut être affecté d'un certain nombre d'irrégularités qu'il importe beaucoup de prévenir,

En premier lieu, les oscillations doivent être très-petites et toujours de la même amplitude, puisque nous avons vu que les grands arcs étaient parcourus un peu plus lentement que les petits. Bernoulli avait imaginé, pour assurer l'isochronisme, de faire osciller le pendule entre deux petits arcs de cycloïde, en le suspendant à une lame élastique qui pût se plier sur ces arcs; mais ce moyen a été abandonné comme difficile d'exécution et à peu près superflu, quand les amplitudes ne varient pas.

En second lieu, la résistance de l'air doit détruire peu-à-peu le mouvement du pendule, et l'horloge à laquelle on l'adapte doit employer une partie de sa puissance à entretenir ce mouvement. Pour diminuer autant que possible et cette perte et l'emploi de la force qui la répare, on rend le pendule extrêmement pesant, et on lui donne la forme d'une lentille, dont les bords tranchans éprouvent très-peu de résistance de la part de l'air. On doit, du reste, soustraire l'instrument à toute influence des agitations atmosphériques.

Enfin, et cette dernière cause de perturbation est plus importante que toutes les autres, les variations de température, en allongeant ou en raccourcissant la tige métallique qui suspend la lentille, apporteraient des inégalités dans la durée des oscillations. On a imaginé un grand nombre de moyens pour obvier à cet inconvénient. Les uns ont fait entrer dans la composition du pen-

dule une colonne de mercure, qui s'élevait en se dilatant, et compensait ainsi l'allongement de la tige métallique. D'autres ont pensé qu'une tige de bois bien sec et verni n'éprouverait pas de changemens sensibles dans ses dimensions. Mais le moyen le plus usité consiste à opposer la dilatation d'un métal à celle d'un autre, pour produire une compensation. On y réussit par le genre de construction indique dans la *fig.* 51. Au lieu d'une tige métallique simple, la lentille *o* est suspendue par une combinaison de tringles métalliques, les unes en cuivre et les autres en acier, disposées de manière à ce que la dilatation du cuivre, qui peut être évaluée à 5, détruise les effets de la dilatation de l'acier, qui peut être évaluée à 3. En effet, la tige *a b* du pendule est en acier; elle passe librement par un trou pratiqué dans la traverse *eg*, et va se fixer à la petite traverse *k h*, qui est elle-même supportée par les deux tringles *kl*, *hi*, qui sont en cuivre. Le tout est suspendu par les deux tringles *de*, *fg*, qui sont en acier, et qui se fixent à la traverse *df*, qui porte le point de suspension; en sorte que si l'appareil s'échauffe, les tiges d'acier *de*, *fg* et la tige *ab* du pendule s'allongeront, ce qui fera descendre la lentille; mais en même temps les tiges *kl* et *hi* s'allongeront davantage, parce qu'elles sont en cuivre, et feront remonter le point *a* de la tige *ab*, et par conséquent la lentille.

Il ne peut pas y avoir compensation exacte dans l'appareil que nous venons de décrire, puisqu'il y a

deux allongemens d'acier représentés par 6, et un allongement de cuivre représenté par 5; mais on obtient cette compensation en répétant le même effet à l'aide d'un plus grand nombre de tiges de cuivre et d'acier disposées sur le même principe.

M. Martin a imaginé un autre genre de compensateur qui n'est pas moins ingénieux. Si l'on fixe l'une sur l'autre, par un grand nombre de vis, une lame de cuivre et une lame de fer, cette réunion prendra des courbures déterminées dans les changemens de température, puisqu'une des lames s'allongera plus que l'autre. Cela posé, si l'on place (*fig.* 52) en travers de la tige d'un pendule AB un semblable appareil *ab* chargé de deux boules métalliques à ses extrémités, lorsque l'arc se redressera les boules s'éleveront, et réciproquement. On pourra arriver par le calcul à compenser ainsi l'allongement de la tige AB, et l'on arrivera à la plus grande précision en montant sur des vis les petites masses *a*, *b*, pour les approcher ou les éloigner du centre de mouvement, jusqu'à ce que la compensation soit parfaite. Le même moyen est employé dans les petits balanciers du chronomètre (*Voy.* le livre intitulé CALORIQUE.)

145. Nous avons vu (125) les conditions de l'équilibre des forces appliquées à un corps fixé par un axe. Mais si, dans un tel corps, l'équilibre vient à être rompu, toutes ces particules se mettront en mouvement; elles seront forcées de décrire des cercles autour de l'axe; les rayons de ces

cercles seront déterminés par les distances perpendiculaires des molécules à l'axe, et par conséquent chaque molécule prendra une vitesse différente et relative à sa situation. Ces vitesses différentes produiront elles-mêmes dans chaque molécule une force centrifuge proportionnelle dont le *maximum* appartiendra aux molécules qui décrivent les plus grands cercles, et le *minimum* à celles qui sont situées le plus près de l'axe. Il existe une multitude de cas dans lesquels tous ces effets sont produits, sans qu'il soit fort important de les apprécier. Il en est quelques-uns dans lesquels leur appréciation devient intéressante. La masse générale du globe terrestre est précisément dans le cas que nous venons d'indiquer; mais il paraît que cette masse n'a pas toujours été dans l'état de solidité où nous la voyons, ou bien qu'actuellement même elle n'est pas aussi solide qu'elle le paraît, puisque le mouvement de rotation a produit en elle un changement de figure en augmentant le diamètre de l'équateur, et en diminuant celui qui passe par les pôles.

On démontre par une expérience ingénieuse la nature de cet effet du mouvement de rotation : on dispose sur un axe deux cercles élastiques très-flexibles qui se croisent à angle droit; on place sur l'axe et au-dedans des cercles deux anneaux mobiles, et on imprime un mouvement de rotation rapide à toute la machine. Pendant ce mouvement, les deux cercles prennent une forme ellip-

soïde, et le diamètre qui répond à l'axe est diminué, ce dont on a la preuve et la mesure par la situation des deux anneaux mobiles qui, après l'expérience, se trouvent placés plus près l'un de l'autre, et à une certaine distance des cercles revenus à leur figure naturelle.

On a imaginé plusieurs autres machines propres à rendre sensibles les effets de la rotation sur un axe. On place sur une barre horizontale qui peut tourner sur son centre avec rapidité les corps que l'on veut soumettre aux expériences.

a. La barre horizontale supporte un fil métallique dans lequel sont enfilées des boules d'ivoire de différens poids : si l'on en place une seule de manière que son centre réponde à l'axe de rotation, elle reste en repos, parce que la somme de toutes ses forces centrifuges est égale à zéro. Deux boules égales enchaînées par un fil, et placées à d'égales distances du point de rotation, demeurent en repos, parce que leurs forces centrifuges se font équilibre.

Deux boules inégales enchaînées par un fil et placées à des distances du centre réciproquement proportionnelles à leurs masses restent en repos, car leurs forces centrifuges se font encore équilibre, les vitesses compensant les masses. Dans tout autre cas, les boules sont portées avec rapidité vers l'extrémité de la tige tournante.

b. Si l'on remplace le fil portant des boules par deux tubes de verre inclinés vers le centre de l'ap-

pareil, si l'un des tubes contient de l'eau et une balle de plomb, et l'autre de l'eau et une balle de liége; dans l'état de repos, la balle de plomb sera au bas de son tube et la balle de liége au sommet de son tube. Dans l'état de rotation rapide, la balle de plomb montera au sommet du tube et la balle de liége descendra au centre; car la force centrifuge l'emportera alors sur les effets de la pesanteur; l'excès de poids spécifique du plomb sur celui de l'eau portera la balle de plomb en dehors de ce liquide; l'excès du poids spécifique de l'eau sur celui du liége portera l'eau en dehors et laissera le liége au centre.

c. Des phénomènes du même ordre arriveront si l'on remplit les tubes de mercure, d'eau et d'air : ces trois corps se rangeront dans l'état de repos dans l'ordre naturel de leur poids spécifique; pendant la rotation, cet ordre sera renversé.

On a proposé l'application d'un procédé fondé sur ces principes pour remédier aux congestions de sang qui se forment vers le cerveau, et qu'on désigne sous le nom d'*apoplexies;* et on a imaginé de placer le malade sur une machine de rotation, la tête vers le centre et les pieds du côté de la circonférence. Il n'est pas douteux que dans le mouvement de rotation, le sang ne dût alors se porter avec force vers l'extrémité la plus éloignée du centre de mouvement; mais il est très-probable qu'à l'instant où le mouvement cesserait, les fluides retourneraient vers la tête avec une vio-

lence qui pourrait déterminer des accidens encore plus graves que ceux auxquels on cherche à remédier. Nous ne croyons pas que ce moyen ait jamais été soumis à l'expérience.

DU CHOC DES CORPS SOLIDES.

146. Lorsque deux corps solides, animés de mouvemens divers, viennent à se rencontrer dans l'espace, il en résulte ce qu'on appelle un *choc* ; et dans ce choc les mouvemens dont les corps étaient animés se trouvent détruits, transmis d'un corps à l'autre, ou modifiés dans leur intensité et leur direction, le tout suivant des lois fort importantes à déterminer et à connaître, mais avec des circonstances tellement multipliées et variables, qu'il est indispensable de considérer d'abord des cas très-simples, et par exemple de supposer que les corps qui se choquent sont des sphères de poids connus, animées de vitesses connues et qui se rencontrent dans des directions qui passent par leurs centres de gravité, ce qu'on désigne par le nom de *choc central.*

Les effets produits par le choc des corps diffèrent essentiellement suivant que les corps sont privés d'élasticité ou sont élastiques, et encore suivant que l'élasticité est parfaite ou qu'elle est incomplète. Nous examinerons successivement ces trois cas.

CHOC CENTRAL DES CORPS NON ÉLASTIQUES.

147. Pour faire les expériences qui établissent les lois du choc des corps, on se sert d'un appareil représenté (*fig.* 53) ; qui présente un arc de cercle, au centre duquel sont suspendues par des fils des masses entre lesquelles on veut déterminer le choc. Ces masses représentent alors un pendule, et si on les élève le long de l'arc de cercle d'un nombre de degrés déterminé, elles auront, en arrivant à la verticale, des vitesses connues. Les degrés de cet arc doivent être mesurés par la longueur des cordes, car on sait que les vitesses acquises sont proportionnelles à ces cordes. On portera donc du point A marqué o, vers les points B et C, des longueurs de corde successivement croissantes, comme 1, 2, 3, 4, etc., et on obtiendra sur l'arc des degrés inégaux, mais qui produiront des vitesses proportionnelles aux cordes. On pourra faire varier à volonté la masse des corps qui se choqueront; et pour représenter des corps non élastiques, on pourra se servir de boules de terre glaise humide, car tous les corps durs sont plus ou moins élastiques.

Si deux corps mous de masses égales et animés de vitesses égales et opposées, viennent à se choquer, les deux corps s'aplatiront l'un sur l'autre et demeureront en repos; les puissances qui les animaient auront été absorbées par le déplacement opéré entre leurs particules, malgré la cohésion qui les fixait à leur place.

Deux corps mous de masses inégales, mais animés de vitesses réciproquement proportionnelles à leurs masses, se réduiront au repos de la même manière. Par exemple, dans la machine décrite, deux sphères pesant chacune 4, et tombant chacune de 6 degrés, s'arrêteront au zéro de l'échelle. Une des boules pesant 2 et tombant de 4 degrés, l'autre pesant 4 et tombant de 2 degrés, les deux boules s'arrêteront au zéro.

Si les quantités de mouvement des deux corps mous sont inégales et opposées, il existera après le choc une quantité de mouvement dans le sens de la plus grande, et qui sera égale à leur différence. Quant à la vitesse, on l'obtiendra en divisant la quantité de mouvement par la somme des masses des deux corps.

Soit, par exemple, une masse comme 4, tombant de 6 degrés; sa quantité de mouvement sera 24; soit l'autre masse comme 4, tombant de 2 degrés, sa quantité de mouvement sera 8; le mouvement, après le choc, sera dans le sens de la première, et sera égal à 24, moins 8 ou 16 : la masse commune sera 8, et la vitesse de cette masse sera par conséquent 2.

On vérifie, à très-peu-près, ce fait avec les deux boules de glaise qui remontent ensemble à 2 degrés du côté vers lequel marchait la plus forte. Il faut seulement remarquer qu'en faisant l'expérience, c'est le centre de gravité des deux boules réunies qui doit parvenir jusqu'au deuxième de-

gré ; sa situation est indiquée par le plan de contact des deux boules.

Si l'un des corps mous est en repos et l'autre en mouvement, la quantité de mouvement après le choc sera la même qu'avant ce choc ; mais comme la masse sera augmentée, la vitesse devra être diminuée relativement. On trouve en effet que si les deux boules sont égales, et que l'une tombe de 6 degrés sur l'autre, elles remonteront ensemble à 3 degrés du côté opposé.

Si la masse en repos est très-grande, ou présente une surface immobile, comme un plan de marbre que l'on placerait au zéro de l'échelle, le corps mou arrivera au repos en s'aplatissant sur le corps résistant, sans lui communiquer une vitesse sensible, puisque la masse, après le choc, peut être considérée comme infinie.

Lorsque deux corps mous animés de quantités de mouvement inégales, mais dans le même sens, viennent à se rencontrer, les deux quantités de mouvement s'ajoutent, et la vitesse après le choc s'obtient en divisant cette somme par la somme des masses. Si, par exemple, une boule pesant 4 tombe de 6 degrés, et une autre boule pesant 4 tombe de 2 degrés, la quantité de mouvement après le choc sera 24 + 8 ou 32, et la vitesse sera 32 divisé par 8 ou 4.

On exprime par une seule formule générale toutes les vitesses qui peuvent résulter de ces différentes circonstances. Si l'on nomme *u* la vitesse

après le choc, m la masse d'un corps, m' la masse de l'autre, v et v' leurs vitesses réciproques, comme la quantité de mouvement après le choc doit être égale à la différence des quantités de mouvement avant le choc, dans le cas de mouvemens opposés, on aura $(m+m')\,u=mv-m'v'$, d'où l'on tire $u=\frac{mv-m'v'}{m+m'}$, valeur de u, qui s'applique à tous les cas indiqués. Mais si les corps se meuvent dans le même sens, la quantité de mouvement après le choc sera égale à la somme de celles qui existaient avant le choc. On aura donc $(m+m)\,u=mv+m'v'$, d'où l'on tire $u=\frac{mv+m'v'}{m+m'}$ formule qui s'applique à tous les cas où deux corps mous se rencontrent en se mouvant dans le même sens.

On conçoit que dans le cas où l'une des masses est en repos, la formule se réduit à $u=\frac{mv}{m+m'}$ et que dans le cas où la masse choquée est infinie, le diviseur $m+m'$ étant infini, u est un infiniment petit ou égale zéro.

CHOC EXCENTRIQUE DES CORPS MOUS.

148. Si un corps mou vient à frapper obliquement sur un plan, son mouvement doit être décomposé en deux forces, l'une perpendiculaire et

l'autre parallèle à la direction du plan. La première sera détruite par la résistance du plan ; la seconde tendra à mouvoir le corps le long de ce plan. Dans ce cas, une sphère molle pourra rouler sur le plan après l'avoir rencontré ; ou si elle adhère au point de contact, elle se déformera en s'allongeant dans la direction du mouvement qui lui reste, jusqu'à ce que ce mouvement soit épuisé par le déplacement réciproque de ses particules.

Lorsque des sphères molles se rencontrent dans des directions obliques, le mouvement de chacune d'elles pourra toujours se décomposer en deux forces, dont l'une sera détruite par le choc, et dont l'autre se composera avec celle du corps opposé, pour mouvoir la masse commune dans une diagonale.

On a pu remarquer, dans tout ce que nous venons de dire sur le choc des corps mous, qu'il y a très-souvent une perte considérable de mouvement dans ce choc, et qu'il est même quelquefois réduit à zéro, ce qui semble contraire à ce que nous avons dit du mouvement en général. Mais il faut remarquer qu'indépendamment des puissances qui peuvent mettre en mouvement des masses ductiles, il y a dans leur intérieur des puissances de cohésion qui retiennent leurs molécules dans un état de situation plus ou moins fixe, et que les effets apparens des forces générales qui meuvent les masses, peuvent être détruits ou consumés dans l'effort nécessaire pour

vaincre les forces de cohésion des particules et les déplacer. C'est ce qui arrive dans les corps mous animés de mouvemens contraires : leur quantité de mouvement après le choc est égale à la différence des quantités de mouvement avant le choc, et ce qui paraît perdu a été employé à changer la forme du corps. Aussi dit-on, comme axiôme général de mécanique, que, dans les chocs quelconques des corps mous ou imparfaitement élastiques, il y a toujours diminution des *forces vives.*

CHOC CENTRAL DES CORPS ÉLASTIQUES.

149. Si l'on se rappelle ce que nous avons dit (105) de l'élasticité des corps solides, il sera facile de concevoir que cette propriété doit apporter des changemens très-considérables dans les effets du choc des corps, puisque dans le moment même où leurs molécules auront été déplacées par les effets du choc, au lieu de rester, comme pour les corps mous, dans cet état de déplacement, elles reviendront subitement à leur position première, et pourront même la dépasser d'une certaine quantité pour se livrer ensuite à des oscillations successivement décroissantes jusqu'à l'état de repos. On voit donc qu'au moment du choc les centres de gravité de deux corps solides élastiques peuvent se trouver placés plus près l'un de l'autre que la figure de ces corps ne le permettrait dans l'état ordinaire, tandis que

dans l'instant suivant les corps reprenant leur première dimension et même un plus grand diamètre dans la direction du choc, les deux centres de gravité doivent être écartés l'un de l'autre avec une force qui sera exactement proportionnelle à l'intensité du choc, si les corps sont parfaitement élastiques. Et comme ces corps cesseront de se toucher à l'instant même où la répulsion commencera, les vibrations consécutives n'auront aucune influence sur le phénomène, qui se passe tout entier dans la première de ces oscillations.

Si les corps qui se choquent employaient un temps plus ou moins considérable pour revenir à leur forme première, les résultats du choc seraient tout-à-fait différens. Nous ne parlons ici que de l'élasticité parfaite, c'est-à-dire dans laquelle le retour est complet et instantané.

On prend communément, pour exemple de corps élastiques, des boules d'ivoire qui présentent les deux avantages indiqués et qui en outre ne sont point fragiles.

Si deux masses élastiques égales et animées de vitesses égales viennent à se choquer, elles se comprimeront d'abord réciproquement; et, revenant aussitôt à leur forme première, se repousseront avec une force égale à la compression; elles retourneront par conséquent, dans le sens contraire à la direction primitive de leur mouvement, avec des vitesses précisément égales à celles qui les animaient au moment du choc. Si l'expérience se

fait avec la machine décrite (147), deux billes d'ivoire égales, tombant chacune de six degrés, par exemple, remonteront chacune à six degrés.

Si les deux corps élastiques, ayant des masses égales, ont des vitesses différentes, elles se trouveront, après le choc, avoir échangé leurs vitesses. Si, par exemple, la bille A est tombée de 10 degrés, et la bille B de 6, après le choc la bille A remontera de 6 degrés, et la bille B de 10. Pour concevoir ce phénomène, il faut se rappeler ce que nous avons dit (147) du choc des corps mous et décomposer en quelque sorte le phénomène du choc des corps élastiques. En effet, au moment où les corps A et B se choquent et se compriment, la vitesse 6 du corps B doit détruire 6 parties de la vitesse du corps A, et il reste à la bille A une vitesse comme 4, en vertu de laquelle elle presse la bille B pour partager avec elle cette vitesse; en sorte que la double masse devrait se mouvoir ensuite avec une vitesse comme 2; et si dans ce moment l'élasticité est mise en jeu, elle produira une impulsion proportionnelle, 1°. à la vitesse 6 qui a été détruite dans la bille A; 2°. à la moitié de la vitesse 4, qui devait se partager aux deux billes, c'est-à-dire à 8. Les deux billes devront donc prendre en sens contraire des vitesses comme 8. Mais la bille A a conservé une vitesse comme 2 dans le sens primitif de son mouvement; sa vitesse deviendra donc 8 — 2 ou 6. Quant à la bille B, elle avait acquis une vitesse comme D

dans le sens de la nouvelle impulsion ; elle prendra donc une vitesse égale à 8 + 2 ou à 10, d'où l'on voit que les vitesses se seront effectivement échangées entre les deux billes.

Si, les masses étant égales, une des deux billes est en repos, il y aura encore échange de vitesses, c'est-à-dire que la bille choquante prendra une vitesse nulle ou restera en repos, tandis que la bille choquée s'emparera de toute la vitesse de la première. En effet, la bille A étant animée d'une vitesse comme 10, tendra d'abord à la partager avec la bille B ; et les deux corps devraient se mouvoir ensuite avec une vitesse commune égale à 5. Mais l'élasticité produira dans les deux billes une impulsion égale à 5 ; la bille A ayant conservé dans le sens primitif de son mouvement une vitesse comme 5, et en recevant une égale et opposée, demeurera en repos, pendant que la bille B, ayant déjà acquis une vitesse comme 5, dans le sens de la nouvelle impulsion, prendra, dans cette direction, une vitesse comme 10.

Si le corps qui est en repos est une masse immobile, la bille qui viendra la frapper perdra d'abord la totalité de sa vitesse, et sera ensuite repoussée avec une force proportionnelle à cette vitesse ; par conséquent elle en prendra une égale et opposée, ou remontera précisément d'où elle était descendue.

Si les billes élastiques qui se choquent ont des masses différentes, on trouvera, par les mêmes raisonnemens, les résultats que présente en

effet l'expérience. Soit, par exemple, la bille A ayant une masse comme 1, et étant animée d'une vitesse comme 6, et supposons que la bille B, ayant une masse comme 2, soit en repos : après le choc, la vitesse commune devrait être 2, puisqu'une vitesse comme 6 s'est partagée à une masse comme 3. La réaction élastique étant proportionnelle à la perte de vitesse, sera donc égale à 4; la bille A, à qui il restait une vitesse comme 2, et qui reçoit 4 de vitesse en sens inverse, retournera sur ses pas avec une vitesse comme 2; et la bille B, qui avait déjà une vitesse comme 2, recevant l'impulsion d'une vitesse comme 4, qui se partage à une masse double, ne recevra en effet qu'une vitesse comme 2, qui, s'ajoutant avec celle qu'elle avait déjà, la mettra en mouvement avec une vitesse comme 4.

Si les deux corps élastiques se mouvaient dans le même sens avec des vitesses inégales et venaient à se rencontrer, il y aurait encore échange de vitesse entre les deux corps. En effet, si la bille A a 10 degrés de vitesse, et la bille B 6 degrés, la vitesse commune, après le contact, sera la moitié de la somme de ces vitesses, ou 8; mais la force élastique sera égale à la vitesse perdue ou à 2. En conséquence, la bille A prendra une vitesse égale à 8 — 2, ou à 6, et la bille B une vitesse égale à 8 + 2, ou à 10.

CHOC EXCENTRIQUE DES CORPS ÉLASTIQUES.

150. Lorsque les corps élastiques se choquent dans des directions qui ne passent pas par leur centre de gravité, il peut arriver une foule de cas particuliers de mouvemens. Et, en général, le corps qui n'est pas choqué dans la direction de son centre de gravité prend à la fois un mouvement de translation et un mouvement de rotation : l'impulsion se décompose toujours en deux forces, dont l'une est dans la direction de ce centre de gravité, et l'autre lui est perpendiculaire. Mais il est un cas particulier qu'il est important d'examiner, parce qu'il s'applique à tous les phénomènes qu'on nomme *réflexions;* c'est celui où une bille élastique vient à frapper obliquement sur un plan résistant. Soit, par exemple (*fig.* 54), le plan AB, sur lequel la bille C est lancée pour le rencontrer au point P : nous disons que cette bille sera réfléchie dans la direction PC′ en faisant l'angle CPB égal à l'angle C′PA, c'est-à-dire, *l'angle d'incidence égal à l'angle de réflexion;* car ce sont les noms qu'on leur donne. Pour le démontrer, il faut considérer qu'au moment où le corps C vient à toucher le point P, sa force d'impulsion se décompose en deux autres forces, savoir : PR perpendiculaire au plan, et qui est détruite par la résistance, et PA suivant la direction du plan, et en vertu de laquelle le corps rou-

lerait sur ce plan, s'il n'était point élastique. Mais, au moment du choc, l'élasticité produira une puissance PQ égale et opposée à la force perdue PR; le corps se trouvera donc sollicité à la fois par les forces PA et PQ, et devra parcourir la diagonale PC'. Or, à cause de l'égalité des parallélogrammes PQC'A, PAOR, PC' sera égale à PC, et l'angle CPB sera égal à l'angle C'PA.

Si la surface sur laquelle tombe le corps élastique était courbe, les mêmes raisonnemens s'appliqueraient au plan tangent mené par le point de la surface où se ferait le choc.

Toutes les lois que nous venons d'exposer sur le choc central ou excentrique des corps élastiques sphériques, trouvent des applications fort intéressantes dans le mouvement des billes sur un billard. On se sert, dans les cabinets de physique, d'un billard de marbre; mais on observe alors une foule d'anomalies très-curieuses, qui dépendent de ce que les billes, qui reçoivent un mouvement de translation sur ce billard, prennent en même temps un mouvement de rotation sur un de leurs axes; en sorte qu'après les chocs qui changent les directions des mouvemens de translation suivant les lois que nous avons établies, les billes conservent pendant un certain temps un mouvement de rotation autour de l'axe primitif, de telle façon qu'après leur réflexion sur les bandes, par exemple, au lieu de se mouvoir en ligne droite, elles décrivent des courbes qui sont le résultat de la combinaison

du mouvement réfléchi avec la rotation, qui prend son point d'appui sur le plan du billard. C'est pour éviter ces inconvéniens que les billards ordinaires sont couverts en drap, et que leurs bandes ont un certain degré de mollesse. Dans ce cas, le choc enfonce, pour ainsi dire, les billes dans une concavité qui se forme à la bande, et le frottement considérable qui s'établit détruit presque complètement le mouvement de rotation de la bille

CHOC DES CORPS ÉLASTIQUES D'UNE FORME QUELCONQUE.

151. Dans le choc réciproque des corps élastiques d'une forme quelconque, il faut considérer, 1°. si la direction du choc passe par le centre de gravité; 2°. quelle est la direction de la surface choquée par rapport à la ligne qui passe par le centre de gravité.

Si le choc a lieu dans la direction qui passe par le centre de gravité, et si la surface choquée est perpendiculaire à cette direction, ou présente une courbe dont cette direction soit la normale, les choses se passent suivant les lois que nous avons établies. Si la surface choquée est inclinée à la direction du choc, la force doit être décomposée en deux autres, dont l'une agit perpendiculairement à cette surface, et l'autre parallèlement. Si aucune de ces directions primitives ou secondaires ne passe par le centre de gravité, il se produira un

mouvement de rotation, en même temps qu'un mouvement de translation, qui pourra être apprécié par les règles précédentes.

CHOC SIMULTANÉ DE PLUSIEURS CORPS ÉLASTIQUES.

152. Si l'on suppose (*fig.* 55) une série de billes élastiques suspendues à des fils parallèles, et situées de manière que tous leurs centres soient sur la même ligne et leurs masses égales; si dans cet état on écarte la première bille de la direction verticale, et qu'on la laisse retomber sur la seconde, la dernière bille se mettra aussitôt en mouvement; toutes les autres resteront en repos. Si l'on écarte à la fois les deux premières billes, les deux dernières se mettront en mouvement, et ainsi de suite. Mais, ce qui est plus remarquable, si dans une rangée de 8 billes on en écarte 5, après le choc 5 se mettront en mouvement, et 3 resteront en place; et si même on en écarte 7 à la fois, pour les laisser tomber sur la 8e, 7 se mettront en mouvement dans le sens opposé, et la 1re seule restera en repos. On explique ces phénomènes singuliers en admettant que les billes ne sont pas dans un contact véritable, qu'elles se choquent véritablement toutes les unes les autres, jusqu'à la bille libre qui se meut, en sorte que la première bille choque la seconde, qui reçoit tout son mouvement; que la seconde choque la troisième, lui transmet son mouvement, reste en repos, et ainsi de suite.

Quant au nombre des billes qui se meuvent réellement, il est toujours égal au nombre des billes choquantes, à cause de la similitude des masses.

Si l'on range de la même manière, sur une même ligne des billes d'ivoire dont les masses soient en progression géométrique, comme les nombre 1, 2, 4, 8, 16, etc., et si l'on écarte la plus pesante, au moment du choc, toutes les billes s'écarteront les unes des autres, et d'autant plus qu'on se rapprochera de la plus petite.

DE LA FRACTURE DES CORPS ÉLASTIQUES PAR LE CHOC.

153. Un corps solide élastique peut se briser par l'effet d'un choc, et l'on conçoit en effet que, dans le déplacement rapide des particules, elles peuvent se trouver portées à des distances réciproques qui dépassent leur sphère d'attraction, et dès-lors il n'y a plus de raison pour qu'elles reviennent à leur situation première ; elles s'écartent au contraire de plus en plus les unes des autres, en obéissant à l'impulsion qu'elles ont reçue. Ce phénomène présente une infinité de circonstances variables, au milieu desquelles il est bon d'indiquer quelques cas particuliers.

Un corps solide d'un grand volume, frappé par son milieu, se brise difficilement, parce que beaucoup de molécules reçoivent et se partagent l'impulsion produite. Frappé vers un de ses angles, il se brise et s'éclate aisément, parce qu'un petit

nombre de molécules recevant toute l'impulsion, se trouvent animés d'une grande vitesse.

Lorsqu'un corps mince élastique appuyé de tous points sur un plan solide est frappé dans une petite partie de son étendue, il se brise dans ce point seulement. S'il est soutenu par ses bords, il fléchit avant de se briser, et la cassure s'étend dans toutes ses parties.

Si le même corps mince et non soutenu, comme un carreau de vitre, est frappé dans un point avec une très-grande vitesse, comme par une balle de fusil tirée de près, il n'est brisé que dans le point choqué et la balle y fait un trou rond. Si le même projectile l'atteint de loin avec une impulsion médiocre, le carreau est entièrement brisé. On peut dire que, dans le premier cas, la lame de verre n'a pas pu se fléchir; et le célèbre Charles avait l'habitude de peindre à l'imagination cet effet extraordinaire en disant que *les molécules frappées n'avaient pas eu le temps d'avertir les autres.* On conçoit de la même manière comment une porte, mobile sur ses gonds, et que l'on peut faire mouvoir avec le bout du doigt, peut être percée par un boulet de canon et demeurer immobile.

La connaissance de ces effets d'un choc violent reçoit d'heureuses applications dans la théorie des plaies d'armes à feu. On sait que les plaies faites par les projectiles animés d'une grande vitesse sont en quelque sorte tout à fait locales, que les organes voisins n'en éprouvent presque aucun trouble,

tandis que les balles mortes ou les boulets qui ont ricoché produisent d'énormes contusions ou des fractures comminutives qui sont suivies des accidens les plus graves.

Lorsqu'un corps très-élastique, comme une bille de verre ou d'agathe, reçoit quelque choc un peu vif, il se produit dans son intérieur de petites fêlures qui, lorsqu'on les examine, présentent cette circonstance particulière, qu'en détachant les fragmens latéraux il reste une masse conoïde dont le sommet est placé à la surface du corps précisément dans l'endroit choqué.

Les corps élastiques creux présentent en général beaucoup moins de résistance au choc que s'ils étaient pleins. Néanmoins ils offrent beaucoup plus de résistance, quand leur surface est courbe, et surtout sphérique, que quand elle est plane, la courbure offrant dans ce cas une espèce de voûte dans laquelle les particules se soutiennent les unes les autres avec plus d'avantage. Si le corps creux est sphérique et rempli d'un liquide, les avantages de la courbure disparaissent en grande partie, et le corps se brise comme une lame plane qui serait soutenue par tous ses points.

Dans le choc imprimé à une sphère creuse, on conçoit que la fracture peut avoir lieu non-seulement dans le point choqué, mais encore dans tout autre point de la sphère, et particulièrement dans le point opposé au choc, puisque nous savons que toutes les molécules d'un corps élastique sont dé-

placées dans ce cas, et que le diamètre d'une sphère diminue sensiblement dans la direction du choc, pour s'accroître dans les autres.

On a fait un grand abus en physiologie de l'application de la théorie des voûtes au système de résistance que peut offrir la cavité du crâne; mais elle doit être considérée comme une sphère élastique remplie d'une substance molle qui doit produire un effet analogue à celui d'un liquide. On conçoit aisément par ce mode de comparaison, les fractures directes du crâne, et les fractures qu'on nomme par *contre-coup*. On sent même que la résistance ou la solidité des parois du crâne étant très-différente dans leurs diverses régions, il peut arriver souvent que le point choqué étant un des plans résistans, il ne soit pas directement fracturé, tandis qu'il se produira au même instant une fracture dans un lieu du crâne, moins résistant, particulièrement dans le point opposé à celui de la percussion ou dans le diamètre transversal.

Nous ajouterons ici, comme observation générale sur les effets du choc, que dans les manières les plus communes de le produire, avec un marteau, par exemple, on accumule dans le corps choquant, par une force accélératrice, une grande quantité de mouvement qui se transmet dans un seul instant au corps choqué, ce qui produit des effets tout-à-fait différens de ceux que pourrait produire une pression même considérable. En effet, si l'on enfonce en partie un clou dans une planche de

chêne, et qu'on charge la tête de ce clou d'un poids considérable, il sera presque impossible de l'enfoncer ainsi dans la planche de chêne, tandis que la percussion rapide d'un très-petit marteau suffira pour l'y faire pénétrer.

CHOC DES CORPS INCOMPLÈTEMENT ÉLASTIQUES.

154. Nous avons distingué un genre d'élasticité dont les effets sont instantanés, et une autre variété de la même propriété dont les effets ne s'opèrent que dans un temps plus ou moins long; nous avons rangé dans cette dernière classe l'élasticité de la gomme élastique, des cordes et des membranes tendues, des ressorts en acier, etc. Lorsque le choc a lieu entre des corps élastiques de cette espèce, les phénomènes ne suivent point, à beaucoup près, les lois que nous avons établies pour le cas où l'élasticité est complète et instantanée. En effet, si l'on emploie, dans les expériences que nous avons indiquées, des balles de gomme élastique, au lieu de billes d'ivoire, les vitesses après le choc seront toujours beaucoup moindres qu'avec ces dernières. On conçoit cette différence en considérant que dans les corps parfaitement élastiques les changemens de forme sont instantanés, tandis que dans la gomme élastique, et autres corps du même genre, ils sont successifs, en sorte que les deux corps ont déjà cessé de se toucher avant que l'élasticité ait déployé toute son énergie.

Par la même raison, les effets du choc sur ces

sortes de corps, ou avec leur intermédiaire, seront tout-à-fait différens. Si l'on frappe un morceau de fer avec un marteau sur une enclume, à chaque coup sa forme sera modifiée; mais si l'on place une planche de liége entre l'enclume et le morceau de fer, les coups de marteau deviendront sans effet, car la quantité de mouvement dont cet instrument est animé s'éteindra peu à peu, pendant la succession du temps que le liége mettra à se laisser comprimer. Cette différence devient sensible dans une foule de circonstances usuelles. C'est elle qui détruit la dureté des cahots dans nos voitures suspendues; c'est par la même raison qu'un homme peut se précipiter sans danger d'une très-grande hauteur sur un amas de matières flexibles, comme du foin ou de la paille, tandis qu'il se serait fracturé la tête ou les membres en tombant de la même hauteur sur le pavé.

La nature a placé dans notre propre structure un très-grand nombre de moyens de résistance au choc, qui sont fondés sur le même principe. Un homme qui saute de très-haut arrive à terre les membres demi-fléchis; par l'effet du choc toutes ces flexions augmentent; mais le mouvement se détruit peu à peu en les produisant, et le choc est sans inconvénient; tandis que si le même homme eût touché la terre dans l'état de rectitude du corps et des membres, il aurait pu en résulter quelque fracture, ou du moins une violente commotion du cerveau.

La colonne vertébrale et la poitrine offrent des exemples frappans de l'usage des corps imparfaitement élastiques, pour annuler l'effet des chocs extérieurs. Les cartilages qui unissent les côtes au sternum, et les substances intervertébrales, mettent les organes à l'abri des effets d'une foule d'accidens qui seraient beaucoup moins bien prévenus par des résistances absolues que par cette flexibilité qui cède peu-à-peu, et ramène pourtant les cavités à leur figure première.

DU FROTTEMENT.

155. Dans toutes les circonstances où deux corps solides en contact changent de situation l'un par rapport à l'autre, et par exemple, lorsqu'un corps solide glisse sur un plan, ou lorsqu'un cylindre roule sur une surface plane, il se présente un obstacle au mouvement, qui diminue toujours son intensité calculée, et qui réside évidemment dans les points de contact des deux corps. On donne à cette résistance le nom de frottement. On l'attribue à ce que les corps solides les plus polis ne le sont vraiment qu'en apparence, et présentent en effet une multitude de saillies et d'enfoncemens, en sorte que, dans le contact des deux surfaces, les saillies de l'une pénètrent dans les enfoncemens de l'autre; et par conséquent les rapports de ces deux surfaces ne peuvent changer sans que les saillies soient brisées, ou qu'elles sortent des

enfoncemens pour surmonter leurs intervalles ; ce qui suppose un certain degré d'écartement des deux corps, qui doit absorber une petite partie du mouvement de translation. Telle est du moins l'idée qu'on se fait le plus généralement des causes du frottement ; et en effet on observe que le frottement est d'autant moindre que les surfaces sont plus polies. Néanmoins, comme il est certain que dans le rapprochement de deux corps solides par une surface d'une certaine étendue, il se développe une puissance d'attraction entre les deux corps, puissance qui tend à établir une situation fixe, il est probable que cette influence de la cohésion peut être une des causes de la résistance qu'offre le frottement au déplacement des corps. On voit en effet qu'après un certain temps de contact et de repos, le frottement devient très-grand, et qu'on obtient souvent une grande résistance au mouvement, par le contact de deux surfaces parfaitement polies.

On distingue deux genres de frottement. *Le frottement du premier genre* est celui qui s'exerce entre deux surfaces, dont l'une présente toujours les mêmes points de contact, en parcourant l'étendue de l'autre ; comme un parallélipipède qui glisserait par une de ses faces sur un plan incliné. On nomme *frottement du second genre* celui dans lequel les points de contact des deux surfaces se renouvellent simultanément, comme il arrive à un cylindre qui roule sur un plan incliné.

On conçoit que le frottement du premier genre doit toujours être beaucoup plus considérable que celui du second genre, toutes choses égales d'ailleurs; car si le frottement dépend de la pénétration réciproque des inégalités, cette pénétration devra être vaincue simultanément pour tous les points de la surface, dans les frottemens du premier genre, tandis que, dans le second cas, les inégalités se désengrèneront, en quelque sorte, par suite du mouvement de rotation, et n'offriront qu'une très-faible résistance au mouvement. Si le frottement dépend d'un commencement de cohésion, elle sera beaucoup plus puissante entre deux surfaces étendues que dans la ligne de contact d'un cylindre avec un plan. Quoi qu'il en soit, l'un ou l'autre de ces frottemens se rencontre comme obstacle dans toutes les actions mécaniques, et surtout dans les machines plus ou moins complexes; et la perfection consiste à substituer autant que possible le frottement du second genre au frottement du premier genre. C'est dans ce sens que l'on emploie les roues de voiture, les rouleaux que l'on place sous les pierres de taille que l'on cherche à mouvoir, et même les roues secondaires par lesquelles on fait supporter l'axe d'une roue principale dans la machine d'Atwood (66).

Le frottement des roues sur leurs axes est, à la vérité, un frottement du premier genre; mais il exerce peu d'influence, 1°. parce que l'axe et l'ou-

verture qui le reçoit sont durs et polis; 2°. parce que cette résistance agit au bout du rayon de l'axe, qui est un très-petit levier; tandis que la puissance agit au bout du rayon de la roue, qui en présente un très-grand.

L'évaluation du frottement étant d'une grande importance en mécanique, et ne pouvant être fournie que par des expériences directes, on a employé à cet effet deux méthodes différentes.

Dans la première méthode, on place un corps sur un plan horizontal, qui est susceptible de s'incliner peu-à-peu suivant des degrés connus; le corps ne se met en mouvement que lorsque le plan est parvenu à un certain degré d'inclinaison, position dans laquelle la résultante de la pesanteur dans la direction du plan a une intensité calculable, qui est exactement l'expression de la résistance du frottement à l'instant où il est vaincu par elle. On trouve que le frottement est proportionnel à la tangente de l'angle d'inclinaison du plan, qu'on nomme *angle de frottement*, et qu'on désigne ordinairement par x, en sorte que le frottement égale *tang.* x.

La seconde méthode a été imaginée par Désaguilliers. Les expériences se font au moyen de l'instrument qu'on nomme tribomètre et qui consiste en une roue pesante, dont l'axe a le moins de frottement possible, et se trouve retenu par un ressort en spirale; en sorte que si on la dérange de sa situation, elle y revient par des mou-

vemens de rotation opposés et alternatifs, qui durent d'autant plus long-temps que le frottement de l'axe est moindre. Plusieurs leviers peuvent appuyer sur cet axe par des surfaces plus ou moins grandes, et être chargés de poids divers. On observe dans tous ces cas les nombres d'oscillation de la roue, et l'on en conclut les rapports des frottemens. On a trouvé par ces moyens :

1°. Que le frottement du premier genre était toujours beaucoup plus considérable que celui du second;

2°. Que le frottement est exactement proportionnel au poids ou à la force qui presse les surfaces frottantes;

3°. Que l'étendue des surfaces frottantes n'a aucune influence sur le frottement, la pression restant la même;

4°. Que la nature des corps influe beaucoup sur l'intensité du frottement, et qu'en général il est moindre entre des corps de nature différente, mais qui n'ont point d'affinité réciproque, comme le fer et le cuivre, par exemple;

5°. Que le frottement est diminué par certains corps, tels que la plombagine ou la graisse, qui sont capables de remplir les petites cavités et d'augmenter le poli des corps;

6°. Que, dans le cas où les corps sont l'un et l'autre très-durs et très-polis, les corps onctueux peuvent augmenter le frottement;

7°. Que l'eau ou les huiles, par la mobilité de

leurs particules, diminuent beaucoup le frottement, et semblent agir comme de très-petits corps sphériques qui changeraient le frottement du premier genre en frottement du second genre;

8°. Que l'interposition des fluides, entre deux corps solides qui se frottent, a l'avantage très-important de diminuer considérablement le dégagement de calorique qui a lieu par le frottement.

Si le frottement peut être considéré comme un obstacle fâcheux dans l'exécution d'un très-grand nombre de mouvemens, il devient, au contraire, d'une utilité du premier ordre dans une foule de circonstances, en présentant des points d'appui à l'action de beaucoup de puissances qui, sans lui, ne sauraient être mises en action. En effet, d'une part, presque aucun corps ne pourrait rester en repos sans l'existence du frottement; la plus légère inclinaison d'un plan, le plus faible dérangement dans les équilibres, produiraient dans la pratique une foule de mouvemens incommodes; et, d'une autre part, les mouvemens de l'homme et des animaux seraient presque impossibles sans le frottement des extrémités de leurs membres sur le sol qui sert de point d'appui à ces mouvemens. Il est facile d'en juger par ce qui arrive sur la glace bien unie, et dans ce qu'on appelle le *verglas*, circonstances dans lesquelles le frottement n'est pas complètement détruit, mais considérablement diminué. Il serait, par exemple, absolument impossible de gravir un chemin montant, dont la

surface serait parfaitement polie. La même difficulté se présenterait dans les occasions si multipliées où il est question de saisir et de fixer un corps avec la main ; et l'on sait assez quelle difficulté on éprouve à contenir de cette manière un animal dont la peau visqueuse et gluante diminue beaucoup le frottement.

DES MOUVEMENS VIBRATOIRES DES CORPS SOLIDES.

156. Jusqu'ici nous avons considéré les corps solides dans des états de mouvemens qui déplaçaient toutes leurs molécules simultanément dans l'espace, ou qui les faisaient tourner autour d'un centre ou d'un axe. Mais si l'on se rappelle ce que nous avons dit (105) de l'élasticité des corps solides, on concevra facilement que des particules matérielles qui sont situées relativement les unes aux autres à des distances déterminées, et qui s'y trouvent en équilibre entre les puissances opposées de l'attraction et de la répulsion du calorique, peuvent éprouver des agitations partielles dans lesquelles la masse du corps paraîtra immobile, tandis que chaque molécule ayant été écartée de sa situation primitive, y reviendra par des oscillations successivement décroissantes, à-peu-près comme la lentille d'un pendule qui, se trouvant en équilibre entre la pesanteur et la résistance du point de suspension, exécute des oscillations quand on vient à le déranger de cette position. C'est à cette

agitation des particules matérielles qu'on donne le nom de *mouvement vibratoire.*

Les mouvemens vibratoires des particules d'un corps solide pourront être insensibles à l'œil, si le corps a très-peu d'étendue; ils pourront devenir apparens, s'ils se transmettent à l'extrémité d'un très-long levier. C'est ainsi que les vibrations des molécules centrales d'une lame élastique que l'on a courbée produisent à ses deux extrémités des mouvemens très-considérables. On peut rendre sensibles et très-apparens des mouvemens vibratoires extrêmement petits, en les appliquant à un levier très-long; c'est ce qui arrive dans la balance de torsion dont nous parlerons bientôt.

On conçoit que les agitations partielles des particules d'un corps ne peuvent le plus souvent être produites que par une impression brusque, comme un choc, un frottement rude, etc.

Les mouvemens vibratoires se passent, comme tous les autres phénomènes naturels, au milieu de l'atmosphère qui, comme nous le verrons par la suite, est elle-même formée d'un fluide élastique capable d'éprouver des vibrations, en sorte que celles des corps solides se transmettent à l'air. Notre organe de l'ouïe a été d'une autre part disposé de manière à percevoir les impressions produites par les vibrations de l'air, ce qui constitue ce qu'on appelle le *son*. Il faut seulement remarquer que la susceptibilité de notre organe a des limites déterminées, que des vibrations trop lentes

ne font aucune impression sur lui, et qu'il en est de même des vibrations trop rapides; en sorte qu'il n'y a pas de son pour nous lorsqu'il ne s'exécute que 32 vibrations par seconde, et qu'il n'y en a plus lorsqu'elles vont à 8000. On peut donc établir que le son n'est qu'une circonstance accessoire de la vibration des corps. Mais la disposition de notre organe de l'ouïe est telle, que, dans les cas où le son est produit, il peut servir très-commodément à reconnaître les vitesses comparatives des vibrations, attendu que ces différentes vitesses produisent des sons différens que l'oreille juge avec beaucoup de précision, et qu'on appelle *graves* ou *aigus*, suivant qu'ils sont produits par des vibrations plus lentes ou plus rapides. Nous allons examiner successivement les phénomènes de vibration des corps solides dans la *balance de torsion*, dans les *cordes tendues*, dans les *tiges solides*, dans les *surfaces planes*, dans les *membranes tendues*, et enfin la communication de ces vibrations à travers les corps solides.

DE LA BALANCE DE TORSION.

157. La balance de torsion est un instrument fort ingénieux, imaginé par Coulomb, et qui a été d'un grand secours aux physiciens pour mesurer avec précision de très-faibles puissances. Ses effets sont fondés sur cette circonstance, qu'un fil très-fin, d'une nature quelconque, sous-tendu par

un petit poids, peut être tordu dans toute sa longueur, et revenir ensuite exactement à son premier état. Il est évident que ce phénomène tient à l'élasticité, et que dans la torsion toutes les molécules ont éprouvé un très-léger déplacement et tendent par conséquent à revenir à leur situation première avec une force d'autant moindre que le fil est plus fin. On conçoit même que dans ce retour le fil devra se tordre dans le sens opposé, puis revenir encore à sa première situation, et ainsi successivement par des oscillations qui, pour devenir sensibles, n'ont besoin que d'être appliquées à un levier transversal d'une assez grande étendue.

La balance de Coulomb consiste, en effet, en un fil métallique très-fin, ou en un fil de cocon de ver à soie, attaché par son extrémité supérieure à un pivot tournant muni d'une aiguille et d'un cadran. Ce fil descend à travers une colonne creuse de cristal jusqu'au milieu d'une caisse de même substance. A l'extrémité inférieure de ce fil est attaché un levier horizontal en équilibre par son milieu et terminé par deux petites masses. Ce levier peut être en métal ou en gomme laque pour les expériences d'électricité. Le fond supérieur de la caisse de cristal offre une ouverture qui se ferme à volonté, mais par laquelle on peut introduire les corps qui peuvent agir sur le levier, et dont on veut mesurer les puissances attractives ou répulsives. Cette balance peut, du reste, être

simplifiée dans plusieurs cas et modifiée dans plusieurs circonstances. Dans l'état où nous venons de la décrire, le levier est à l'abri des agitations de l'air; l'intensité de la torsion peut être mesurée exactement, et les états électriques se conservent long-temps dans son intérieur, où l'on peut dessécher l'air par des substances hygrométriques.

Pour donner une idée de l'usage de cette machine, supposons que l'on veuille reconnaître la force répulsive d'une petite sphère de métal électrisée. On attachera cette sphère au bout d'une tige isolante; on la plongera dans la balance vis-à-vis l'une des extrémités du levier horizontal, qui en sera d'abord attiré, et immédiatement après repoussé. Cette répulsion tordra le fil de suspension. Mais si l'on fait tourner en sens contraire le pivot auquel le fil est attaché, on augmentera la torsion jusqu'au point de ramener l'extrémité du levier au contact de la petite sphère électrisée. On jugera alors de la torsion produite par le nombre de degrés qu'aura parcourus l'aiguille du pivot sur le cadran supérieur; et toutes les expériences prouvent que la force de torsion est exactement proportionnelle à l'angle de torsion; par conséquent le nombre de degrés de cet angle sera, dans le cas supposé, l'expression exacte de la force de répulsion cherchée.

Si, la balance étant libre, on écarte le levier de sa situation naturelle, il reviendra, et la dépassera, pour revenir encore par des oscillations suc-

cessives et isochrones, qui iront en diminuant d'amplitude à cause de la résistance de l'air. Si l'on place vis-à-vis ce levier oscillant un corps qui exerce sur lui une attraction quelconque, les oscillations deviendront plus rapides, et le carré de leur nombre, dans un temps donné, fournira la mesure de l'attraction nouvelle. Nous avons vu (75) que cette expérience avait servi à constater et à mesurer l'attraction à distance entre les petites masses qui, sans l'ingénieux instrument que nous venons de décrire, ne serait encore qu'une supposition.

On voit que les oscillations provenant de la torsion en spirale doivent être fort lentes. Il en existe de beaucoup plus rapides dans les corps solides, comme nous le verrons plus tard.

Il résulte des recherches de Coulomb que la force de torsion d'un fil métallique est en raison inverse de sa longueur et en raison directe de la quatrième puissance de son diamètre.

DES VIBRATIONS DANS LES CORDES TENDUES.

158. Une corde ou un fil cylindrique de métal ou de toute autre substance ne présente dans son état naturel aucun caractère apparent d'élasticité. Cependant il est facile de s'assurer que cette élasticité existe. Car si l'on tire suivant sa longueur ce fil ou cette corde avec une force qui ne soit pas capable de la rompre, elle s'allonge d'une quan-



tité sensible et revient bientôt sur elle-même, la force cessant d'agir, pour reprendre exactement sa longueur première. Ainsi les corps dont nous parlons sont élastiques quand ils sont tendus, et cette élasticité est d'une nature particulière, qu'il est bien important de distinguer, puisqu'on voit qu'elle dépend d'un état d'équilibre forcé entre l'attraction de cohésion et la force de traction qui tend à diviser la corde. Aussi les corps dont la ténacité est la plus considérable, comme le fer, le cuivre, la corde à boyau, etc., sont-ils les plus propres à devenir élastiques par tension.

Pour faire des expériences sur l'élasticité des cordes, on se sert d'un instrument que l'on nomme *sonomètre* ou *monocorde*, parce qu'il sert à mesurer les sons et ne porte qu'une corde. Il est en effet composé d'une corde métallique ou autre, suspendue verticalement, fixée par son extrémité supérieure, et tendue inférieurement par un poids connu et variable à volonté. Une pince mobile dans la longueur de la corde sert à la fixer inférieurement. Une échelle donne la mesure de ces diverses longueurs, et le tout est joint à une caisse de bois mince destinée à augmenter l'intensité des sons que la corde pourra produire.

Une corde disposée comme nous venons de l'indiquer, ou sur un appareil analogue, mais horizontal, est susceptible de deux modes de vibrations, les unes transversales, les autres longitudinales.

159. Les vibrations transversales sont aisément

produites en écartant le milieu de la corde de sa direction rectiligne, et l'abandonnant tout-à-coup à elle-même : on voit alors la corde passer rapidement d'un état de courbure dans un sens à un état de courbure dans le sens opposé. Ces oscillations sont isochrones ; mais elles diminuent rapidement d'amplitude, et la corde arrive bientôt au repos et à la direction droite qu'elle avait primitivement. On conçoit en effet qu'étant donné le poids qui sous-tend la corde, la longueur est au *minimum* quand la corde est droite, et qu'elle augmente dans les courbures alternatives qu'elle prend. Au reste, ces vibrations sont ordinairement si rapides, que l'œil ne pouvant les distinguer, on croirait réellement la corde plus grosse pendant qu'elle vibre que dans l'état de repos. On voit encore que les deux points fixes sont immobiles, et que le *maximum* du mouvement doit être dans le milieu de la longueur de la corde. On nomme *ventre* ce lieu du plus grand mouvement, et *nœuds* les points de la corde qui sont immobiles.

Les vîtesses des vibrations, dans une corde donnée, sont modifiées, 1°. par la longueur de la corde; 2°. par son diamètre; 3° par sa tension. On trouve par le calcul, et l'on démontre par l'expérience :

1°. Que dans des cordes semblables et également tendues, le nombre des vibrations dans un temps donné est en raison inverse des longueurs;

2°. Qu'avec la même longueur et des tensions

égales, les nombres des vibrations dans des temps donnés sont en raison des diamètres;

3°. Enfin, que la longueur et le diamètre restant les mêmes, les nombres des vibrations dans un temps donné sont en raison directe des racines carrées des tensions ou des poids qui les produisent.

Presque toutes les cordes tendues de manière à pouvoir vibrer, produisent plus de 32 vibrations dans une seconde, et ce n'est pas avec elles que l'on peut reconnaître ce que nous avons dit de l'absence du son dans ces vibrations lentes. En conséquence, il est absolument impossible de constater les lois que nous venons d'annoncer, en comptant les vibrations. Mais comme les vibrations rapides produisent un son, c'est à l'aide de ce son même que l'on juge de leur rapidité. Il est, en général, d'autant plus aigu que les vibrations sont plus rapides, et d'autant plus grave qu'elles sont plus lentes. Or, comme les différens tons de l'échelle musicale sont, ainsi que nous le dirons plus tard, très-appréciables à l'oreille, et relatifs à la vitesse des vibrations, on peut répéter aisément toutes les expériences nécessaires, en faisant varier les longueurs, les diamètres et les poids, et faisant rendre des sons à la corde, soit en la pinçant, soit au moyen d'un archet.

Si l'on fait vibrer une corde donnée sous une tension déterminée, et qu'on appelle *ut* le son qu'elle produit, en la raccourcissant de moitié,

en réduisant son diamètre à moitié, ou en quadruplant le poids qui la tend, on obtiendra également un autre son qui s'appelle aussi *ut*, qui est l'*octave aiguë* du premier et qui répond à des vitesses doubles. En réduisant la longueur de la corde au tiers, ou bien son diamètre, ou enfin en la tendant par un poids 9 fois plus grand que le premier, on obtiendra le *sol* au-dessus de l'*ut* aigu, et ces trois sons désignés par les nombres de vibrations qui les produisent, pourront être représentés par les nombres 1, 2 et 3.

Il semblerait que l'on pût obtenir ainsi d'une corde tous les sons possibles : cependant si la corde est fine, elle ne pourra donner de sons graves qu'avec une très-grande longueur et une trop faible tension. Si elle est grosse, on réussit difficilement à la faire vibrer quand elle est courte et très-tendue ; c'est pourquoi dans tous les instrumens à corde, on en place plusieurs à coté les unes des autres et de différens diamètres, comme on le voit dans le violon.

Lorsqu'une corde tendue rend un son quelconque, ou est animée d'une vitesse d'oscillation déterminée, une oreille exercée, écoutant attentivement, peut distinguer, indépendamment du son produit par la corde entière, un certain nombre de sons plus aigus ; et si le son primitif est exprimé par 1, on entend aisément les sons exprimés par 3 et 5 ; on peut encore distinguer l'octave ou le son exprimé par 2, et même la double

octave qui est exprimée par 4; en sorte que la corde produit, indépendamment du son relatif à sa longueur, tous les sons qu'elle produirait en la subdivisant suivant la série des nombres entiers 1, 2, 3, 4, etc. Il faut donc qu'il existe effectivement dans la corde des subdivisions spontanées qui produisent des vibrations partielles, et c'est ce dont il est facile de s'assurer par l'expérience. En effet, si l'on prend une corde tendue horizontalement, et que l'on place sur sa longueur de petits chevalets de papier blanc, dans tous les lieux géométriques de ces subdivisions possibles, et d'autres chevalets de papiers colorés dans le milieu de l'intervalle de ces divisions, et si dans cet état on fait légèrement vibrer la corde avec un archet, tous les papiers colorés seront immédiatement lancés au loin, et tous les papiers blancs resteront en place; car les premiers se trouvaient placés sur les ventres de vibration dans les lieux de *maximum* de mouvement, tandis que les papiers blancs se trouvaient placés dans les points où la corde se divise spontanément, et qui forment ce que nous avons nommé *nœuds de vibration*.

Les cordes sont tellement disposées à se diviser ainsi spontanément, qu'il suffit de toucher légèrement vers le tiers de sa longueur une corde tendue, qui rend un son nommé *ut* par exemple, pour qu'elle se divise aussitôt en deux parties, dont l'une donne l'octave de l'autre. C'est par cette méthode qu'on obtient sur la harpe ou sur la guitare

des *sons harmoniques*. Cette division spontanée des corps vibrans est un fait général d'une grande importance, et dont nous trouverons de nombreuses applications en traitant des vibrations de l'air et de l'*acoustique*. Il est essentiel de remarquer que, lorsque deux parties d'une corde vibrent séparément par une division spontanée, facilitée par un léger contact, les oscillations des deux parties sont constamment opposées l'une à l'autre, comme on le voit (*fig.* 56).

160. Les cordes tendues paraissent susceptibles d'un autre mode de vibrations, que l'on nomme *longitudinales*. On suppose qu'elles sont produites par des oscillations des tranches de la corde dans le sens de sa longueur; elles ne sont point visibles, et on les détermine en frottant la corde longitudinalement. Les sons produits par ce mode de vibration sont en général beaucoup plus aigus. La corde peut se subdiviser dans ce cas-ci comme dans le précédent; mais cela n'arrive que quand on la touche dans un point convenable. Les divers sons produits ont entre eux les mêmes rapports que nous avons indiqués précédemment; mais ils sont tellement aigus, que, pour les rendre appréciables, il faut se servir de cordes extrêmement longues. On peut reconnaître les vibrations de cette espèce, en frottant un crin serré dans les dents et fortement tendu.

MOUVEMENS DE VIBRATION DANS LES VERGES SOLIDES.

161. Une tige d'un corps solide quelconque, de fer ou de cuivre par exemple, est susceptible d'entrer en vibration par divers modes d'impulsion et dans différentes circonstances. On sait, par exemple, qu'une clef posée en équilibre sur un doigt, et frappée avec une autre clef, rend un son déterminé. On conçoit que les vibrations de semblables corps peuvent avoir lieu sans aucune tension préliminaire, puisqu'une tige métallique tend à conserver sa forme ou à y revenir par elle-même ou par les seules forces de la cohésion.

Les vibrations de ces sortes de corps suivent des lois fort différentes de celles des cordes tendues, comme il est facile de le prévoir en considérant que la force élastique repose ici dans la cohésion même et s'accroît rapidement avec les épaisseurs.

Les verges élastiques sont susceptibles de vibrations transversales et longitudinales.

162. Les vibrations transversales peuvent être produites 1°. en fixant l'une des extrémités de la tige dans un étau; 2°. en la soutenant par son milieu et lui donnant un choc; 3°. enfin en passant un archet sur un des points de sa longueur. Dans le premier cas, on peut employer une verge assez longue pour qu'en la fléchissant par son extrémité libre, et l'abandonnant subitement à elle-même, elle produise des vibrations assez lentes

pour être comptées. Et on observe alors qu'au dessous de 32 par seconde, elles ne produisent pas de son appréciable. On trouve aussi que les vitesses des vibrations sont en raison inverse des carrés des longueurs. On trouve encore que les vitesses des vibrations sont directement proportionnelles aux épaisseurs. Et en général, quand la nature de la matière et les rapports de longueur et d'épaisseur sont les mêmes, les nombres des vibrations sont en raison inverse des racines cubiques des poids, ou comme les cubes des dimensions.

Les verges élastiques se subdivisent dans leurs vibrations comme les cordes tendues; ce dont on s'assure aisément par le moyen suivant. Si l'on prend une tige métallique aplatie et horizontale, et qu'on la saupoudre de sable sec; au moment où elle vibrera, tous les petits grains de sable placés vis-à-vis les ventres de vibration éprouveront de petites impulsions rapides, qui les feront sautiller et les enverront, par une multitude de petites courbes paraboliques, vers les extrémités de la courbe de vibration, c'est-à-dire vers les nœuds de vibration; en sorte qu'au bout d'un instant la totalité des grains de sable se trouvera amoncelée dans le lieu même de ces nœuds.

On trouve ainsi que les tiges élastiques produisent, en se subdivisant, une série de sons semblables à ceux que produisent les cordes; mais que les dimensions de la subdivision suivent les

lois que nous venons d'indiquer. Il arrive encore que ces subdivisions se produisent diversement lorsque l'un des bouts est fixé, lorsque l'un des bouts est seulement appuyé, lorsque les deux bouts sont libres, lorsque les deux bouts sont appuyés, lorsque les deux bouts sont fixés, lorsque l'un des bouts est fixé et l'autre appuyé. Et l'on conçoit qu'il se formera de préférence des nœuds de vibrations dans les points qui seront rendus immobiles par un contact; mais que les divisions pourront devenir très-nombreuses, si, par exemple, la verge est suspendue par un point qui ne réponde pas à une des grandes subdivisions. Dans tous les cas les oscillations des diverses parties de la verge élastique se font en des sens contraires comme celles des cordes.

Lorsqu'on courbe les verges vibrantes, les nœuds de vibration se rapprochent, et les sons deviennent plus graves pour un même nombre de nœuds. L'instrument qu'on nomme *diapason* offre un exemple de ces sortes de vibrations. Il consiste (*fig.* 57) en un barreau d'acier recourbé sur lui-même un peu au-delà du parallélisme des deux branches, et pouvant se poser sur un pied attaché à la courbure. Lorsqu'on tient l'instrument par le pied, et qu'on introduit entre ses branches et près de la courbure un morceau de fer un peu trop gros pour sortir librement entre les extrémités des branches; si l'on tire subitement ce morceau de fer, les deux branches entrent en vi-

bration et produisent un son constant qui est peu sensible par lui-même, mais qui devient considérable en posant le diapason sur la caisse d'un instrument de musique. Ce son est, du reste, beaucoup plus grave que ne semblerait comporter la longueur des tiges métalliques.

Un anneau continu peut vibrer aussi, et se partage ordinairement en un nombre pair de nœuds de vibration.

163. Les verges solides sont, comme les cordes, susceptibles de vibrations longitudinales, auxquelles on peut appliquer tout ce que nous avons dit de celles des cordes, car elles s'obtiennent par frottement ; elles produisent des sons excessivement aigus, et les divisions donnent des sons proportionnels aux longueurs ; mais on observe, à l'aide de l'ingénieux procédé de M. Savart, des phénomènes qui semblent opposés à l'explication admise pour les cordes, que les vibrations s'opèrent dans des tranches parallèles les unes aux autres. En effet, un des modes remarquables de produire ces vibrations consiste à tenir légèrement entre les doigts une tige aplatie, de verre par exemple, et à la frapper à l'une de ses extrémités dans le sens de sa longueur. Si la face supérieure de cette lame est recouverte de sable, on ne voit plus ces grains de sable sauter comme dans le cas des vibrations transversales ; mais on les voit courir le long de la lame de verre, et se rassembler pour indiquer un grand nombre de nœuds dont la situation varie suivant

le point par lequel on tient la lame; et si l'on vient à renverser cette lame, on trouve qu'il se forme sur la nouvelle face supérieure autant de nœuds que sur la précédente, mais qu'ils correspondent précisément aux ventres de la face précédente, et réciproquement.

On a encore observé, dans les verges rigides, des vibrations que M. Chladni a nommées *tourmentes*, et qu'on peut se représenter comme de véritables torsions. On conçoit aisément l'existence de semblables vibrations, puisque nous avons vu qu'elles existaient dans un fil très-fin, et qu'elles étaient d'autant plus rapides, que le diamètre était plus grand. Si donc, au lieu d'un fil très-fin, on emploie une tige rigide d'un diamètre beaucoup plus considérable, la vîtesse des vibrations pourra devenir assez grande pour produire un son.

DES VIBRATIONS DANS LES SURFACES PLANES.

164. Un corps solide élastique quelconque est toujours susceptible de vibrations communes et dans tous les sens, et par conséquent de produire un son continu. Cependant il arrive, dans beaucoup de cas, que ce son continu ne peut pas être produit par les moyens ordinaires. Ainsi, en frappant sur une table de bois de chêne, on produit un *bruit* instantané, mais non pas un son continu. Si pourtant une des parties de ce corps est amin-

cie et polie, en la frottant avec un archet, on pourra faire produire à toute la masse un son donné. On a imaginé un moyen simple et qui s'applique à tous les cas dans lesquels on veut faire entrer en vibration une masse quelconque. Ce moyen consiste à fixer à un des points de la masse un petit cylindre de verre sur lequel on fait glisser un archet.

Les vibrations des masses solides agitées dans toutes les dimensions sont encore peu connues. On sait seulement que ces masses se partagent toujours en un grand nombre de parties qui vibrent chacune à leur manière, sans que toutes ces vibrations différentes se gênent les unes les autres. Le cas le plus simple de cette question complexe consiste à faire vibrer des plaques de verre, de métal ou de bois, d'une forme ronde ou carrée. On détermine la vibration en passant un archet sur le bord de la plaque. On peut fixer la lame par différens points.

Si la lame est carrée et fixée par son centre, si on la fait vibrer près d'un de ses angles, on obtiendra le son le plus grave qu'elle puisse donner, et le sable qu'on aura répandu sur sa face supérieure s'arrangera comme dans la *fig.* 58.

Si on fait vibrer la plaque par le milieu d'un de ses côtés, le sable s'arrangera comme dans la *fig.* 59.

Si par de légers contacts on facilite de nouveaux nœuds, on obtiendra des figures très-variées; par

exemple, dans la *fig.* 60, en faisant vibrer par le point B, il suffira d'un léger contact au point A pour former les quatre courbes indiquées.

Pour une plaque circulaire, si elle est fixée par son centre, qu'on la touche au point A, qu'on la fasse vibrer au point B (*fig.* 61), on aura une accumulation au centre, et les six rayons indiqués.

Si l'on touche la plaque par le bord, et qu'on la fasse vibrer tout près de ce point de contact, on aura une ligne nodale et un cercle, comme dans la *fig.* 62. On pourra multiplier les diamètres en écartant le point de vibration du point de contact.

Tout ce que nous venons de dire s'applique aux corps d'une nature homogène. Mais dans le cas où les plaques présentent un tissu particulier, comme celui du bois, par exemple, l'un des axes est toujours suivant la longueur des fibres. On voit aussi que, dans ce cas, le son le plus grave ne s'obtient pas par la division en quatre parties, mais lorsque le sable s'accumule au centre.

VIBRATIONS DES MEMBRANES TENDUES.

165. Lorsqu'une membrane élastique est suffisamment tendue, elle est extrêmement susceptible de vibration, comme il est facile de s'en assurer en la recouvrant de sable. Ces vibrations peuvent lui être communiquées par beaucoup de moyens différens, et particulièrement par l'air lui-même. Il

a été jusqu'ici complètement impossible de calculer et de prévoir les effets de ces vibrations dans ces sortes de corps; mais on a démontré qu'il se formait sur toutes les membranes, quelle que soit d'ailleurs leur tension, des figures relatives à la nature de l'ébranlement communiqué; et ce fait a été d'une grande ressource, comme nous le verrons par la suite, pour apprécier et distinguer les vibrations qui se produisent par l'air même.

On sait que l'organe de l'ouïe est séparé de l'air extérieur par une membrane qui non-seulement est habituellement tendue, mais qui peut être plus ou moins solidement fixée par son centre au moyen des osselets. On avait présumé jusqu'ici que le plus ou moins de tension de la membrane avait pour objet de la mettre d'accord avec des sons plus aigus ou plus graves; mais M. Savart a prouvé que cette condition était tout à fait superflue, et il est devenu très-probable que la tension de la membrane a pour but de prévenir la trop grande amplitude de ses vibrations, qui dans les sons très-forts pourraient blesser l'organe de l'ouïe et s'opposer par-là même à la perception distincte des sons.

TRANSMISSION DES VIBRATIONS A TRAVERS LES CORPS SOLIDES.

166. Lorsque des vibrations ont été produites dans une partie d'un corps quelconque, elles peu-

vent se transmettre à toute l'étendue de ce corps, et même à tout un système de corps avec lequel le premier serait en contact. Cette faculté de transmission est propre à accroître considérablement les effets des vibrations sous le rapport du son ; et on en a profité dans la construction d'un grand nombre d'instrumens, où l'on voit des corps sonores d'un petit volume, comme des cordes, attachées sur des caisses à parois élastiques, qui résonnent simultanément et renforcent beaucoup les sons primitifs.

On a fait de nombreuses recherches pour découvrir les lois de transmission des vibrations sonores, soit à travers le tissu d'un même corps, soit d'un corps à un autre. On peut consulter à ce sujet le mémoire de M. Savart (*Annales de Physique et de Chimie*, tome 14, pag. 113) ; nous ne nous occuperons ici que des phénomènes directement applicables à la médecine ou aux circonstances vulgaires.

Il paraît que les vibrations se transmettent dans les corps solides à la manière dont le mouvement se transmet entre des billes élastiques ; et si l'on considère le corps solide qui transmet les vibrations comme frappé à l'une de ses extrémités par une suite de petits chocs résultans des vibrations du corps primitivement ébranlé, on concevra qu'un premier choc se transmettra de point en point le long du corps solide, de manière que la dernière molécule seule sera agitée, toutes les autres étant revenues à l'état de repos après avoir

reçu et communiqué le mouvement. Mais si le corps solide est assez long pour qu'un second choc du corps vibrant se produise avant que le premier ait été transmis jusqu'à l'extrémité, on conçoit qu'il y aura, dans le corps conducteur, deux parties en mouvement, séparées par un intervalle en repos, et qu'il pourrait de même se rencontrer un grand nombre de ces intervalles égaux le long du corps conducteur. C'est à ces intervalles qu'on donne le nom d'*ondes sonores*. Il est évident que les ondes seront d'autant plus courtes que le mouvement sera plus rapide ou le son plus aigu, et réciproquement.

Une foule de faits démontrent que la transmission des vibrations se fait avec beaucoup plus de force et de vitesse à travers les corps solides que par l'intermède de l'air, et même que cette transmission est plus forte et plus complète lorsque le corps solide a des fibres longitudinales. On entend le grattement produit par la pointe d'une épingle sur une des extrémités d'une longue poutre, en plaçant l'oreille à l'autre bout. On entend le battement d'une montre en la plaçant entre les dents. Si l'on suspend une pincette par un ruban de soie dont on applique les deux extrémités sur les deux oreilles, et que l'on frappe la pincette, on entendra un son très-bruyant, et qui paraîtra disproportionné avec l'instrument qui le produit.

Notre savant confrère M. Laennec a tiré un très-grand parti de cette propriété des corps solides,

de transmettre les sons avec force jusqu'à l'oreille par l'intermède des os mêmes du crâne. L'instrument, qu'il a nommé *stéthoscope*, consiste en un cylindre de bois dont une extrémité est appuyée sur la poitrine, pendant que l'autre appuie sur la région de l'oreille de l'observateur, qui, dans cette position, entend distinctement tous les bruits qui peuvent se produire dans l'intérieur de la poitrine, et cela avec une telle précision, que chaque bruit, reconnaissable et qualifié par l'auteur de l'*auscultation médiate*, représente toujours une altération déterminée des fonctions circulatoire ou respiratoire.

On a recherché par des expériences directes quelle pouvait être la vitesse de transmission du mouvement vibratoire sonore à travers les corps solides, et on a trouvé :

1°. Que la transmission par les corps solides était toujours beaucoup plus rapide que par l'air ;

2°. Que la transmission était plus ou moins rapide à travers différens corps solides; en sorte, par exemple, que la vitesse de transmission dans l'air étant représentée par 1, la vitesse de transmission de l'étain serait 7 et demi, celle de l'argent 9, celle du cuivre 12, celle du fer 17, celle des différentes espèces de bois de 11 à 17.

Ces résultats ont été conclus théoriquement par M. Chladni, de la nature du son produit par des verges métalliques comparées à des colonnes d'air.

M. Biot a déterminé, par des expériences directes faites sur les tuyaux de conduite en fonte

placés dans les égouts de Paris, que la vitesse du son était dans ce métal de 3538 mètres par seconde, lorsqu'elle n'est dans l'air que de 337 mètres.

3°. Il est prouvé que les différens sons dont la vitesse des vibrations est si différente, se transmettent pourtant avec une vitesse égale à travers tous les corps, puisqu'un chant quelconque se reproduit à une grande distance avec beaucoup d'exactitude.

4°. Enfin, et c'est ici le phénomène le plus extraordinaire de cette transmission, il est évident qu'une multitude de vibrations, ayant chacune leur vitesse différente, peuvent se transmettre simultanément et dans tous les sens, à travers un corps quelconque, sans se nuire réciproquement.

DES MOUVEMENS DE L'HOMME.

167. Les mouvemens de l'homme présentent sans doute les problèmes de mécanique appliquée les plus multipliés et les plus complexes. Ils sont, du reste, d'autant plus difficiles à résoudre, que l'intensité des forces varie à tout moment aussi bien que le mode de leur application. Nous n'avons pas l'intention de donner ici une mécanique de l'homme, ce sujet appartenant à la physiologie et ayant été traité avec une grande supériorité par Barthez. Nous nous contenterons d'établir, en forme de propositions, les principes généraux d'après lesquels on peut apprécier les différens

genres de mouvement propre dont le corps de l'homme est susceptible, et les différens modes d'application de sa force considérée comme puissance motrice.

1°. Le corps de l'homme peut être transporté d'un lieu à un autre sur un plan horizontal avec une vitesse médiocre; c'est ce qu'on nomme la *marche*. Pour s'en rendre compte, il faut considérer que, dans ce mode d'action, la station repose alternativement sur l'un et l'autre pied, et que les membres inférieurs doivent être considérés comme des leviers brisés qui s'allongent et se raccourcissent alternativement pour transporter le centre de gravité d'un pied sur un autre.

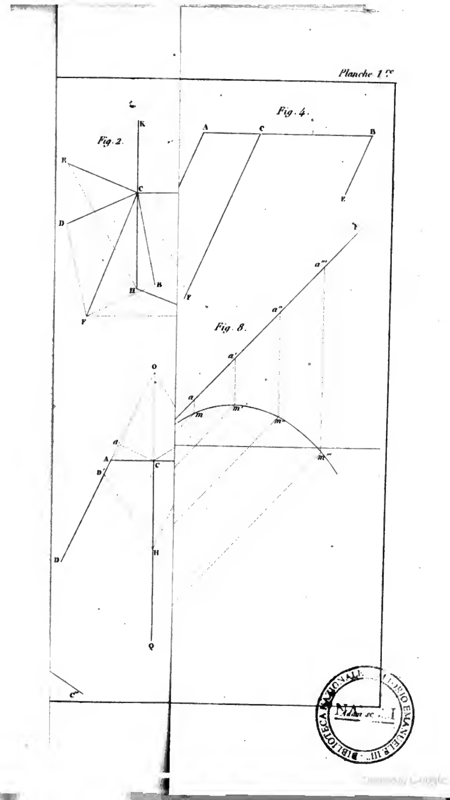
2°. Le corps de l'homme peut être transporté rapidement sur un plan horizontal, c'est ce qu'on nomme la *course*. Pour la concevoir il faut considérer que, dans cette action, le corps est fortement incliné en avant et tend à tomber vers le sol, et que les impulsions produites par les membres inférieurs ont lieu suivant la direction oblique de l'ensemble du corps; en sorte que le centre de gravité est transporté horizontalement dans la diagonale de ces deux puissances.

3°. Le corps de l'homme peut être projeté par une impulsion unique dans le sens opposé à la pesanteur, ou dans une direction oblique; c'est ce qu'on nomme le *saut*. Pour l'expliquer, il faut considérer les différentes parties du corps de l'homme, fléchies les unes sur les autres, comme

s'allongeant par une force élastique, et comparer les effets produits à ceux d'un ressort qu'on aurait comprimé sur un plan, et qu'on abandonnerait ensuite à lui-même.

4°. La force de l'homme peut être employée à mettre une machine en mouvement ; et, dans ce cas, il y a deux circonstances importantes à distinguer, celle où la contraction musculaire est directement employée à mouvoir un corps solide, et celle où le poids même du corps de l'homme agit comme moteur. Dans ce second cas, la force musculaire est employée à relever la masse du corps, lorsqu'elle est descendue en produisant son effet mécanique. L'action de tourner une manivelle présente à-la-fois ces deux modes d'application de la force de l'homme. Lorsque dans la circonférence du cercle parcouru il s'agit d'abaisser la manivelle, le poids du corps y concourt ; lorsqu'il s'agit de la relever, la force musculaire est employée seule.

On évalue communément la force d'un homme à une puissance de vingt-cinq livres, animée d'une vîtesse de trois pieds par seconde ; mais le mode d'application de la force de l'homme peut faire varier considérablement les résultats qu'on en obtient. Ils seront en général d'autant plus avantageux, que l'homme pourra faire usage à-la-fois d'un plus grand nombre de muscles, et les remplacer les uns par les autres dans la suite de l'action.


Fig. 2.
Fig. 4.
Fig. 8.
K
E
C
D
B
H
F
A
C
B
E
Y
a'''
a''
a'
a
m
m'
m''
m'''
O
a
A
C
D'
D
H
Q
C'''

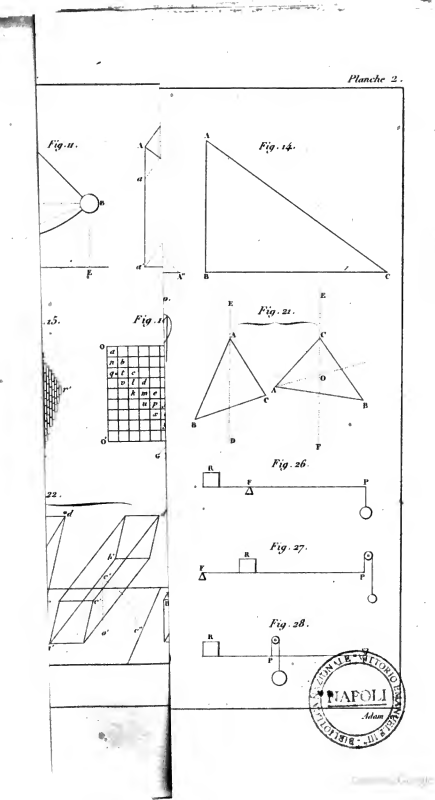
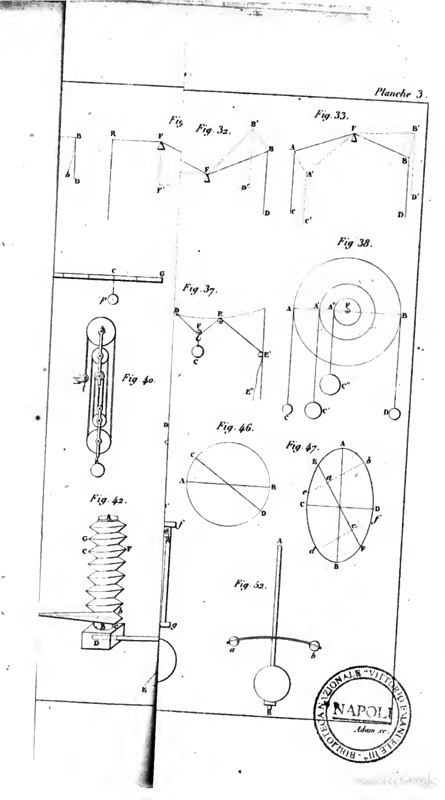


Fig. 11.
B
E
A
a
a'
A"
Fig. 14.
A
B
C
.15.
Fig. 1
O
a
n
b
q
t
c
v
l
d
k
m
e
u
p
x
O'
G
r'
E
Fig. 21.
E
A
C
O
A
C
B
B
D
P
Fig. 26.
R
F
P
22.
d
b'
c'
c"
o'
Fig. 27.
R
F
P
Fig. 28.
R
P

Adam


Planche 3.
Fig. 32.
Fig. 33.
Fig. 37.
Fig. 38.
Fig. 40.
Fig. 42.
Fig. 46.
Fig. 47.
Fig. 52.
Adam sc.

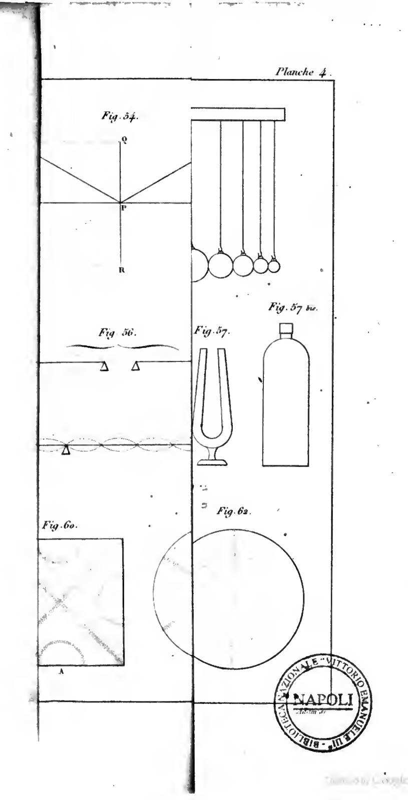

Fig. 54.
Q
P
R
Fig. 56.
Fig. 57.
Fig. 57 bis.
Fig. 60.
A
Fig. 62.



TABLE
DES MATIÈRES.

LIVRE PREMIER.

CHAPITRE PREMIER.

Notions préliminaires.

CHAPITRE II.

Notions générales du Mouvement, de l'Equilibre, et de leurs Lois.

CHAPITRE III.

Des Forces ou Puissances Naturelles.

LIVRE SECOND.

Des Corps solides.

CHAPITRE PREMIER.

Des Propriétés générales de la Matière, considérées dans les Corps solides.

CHAPITRE II.

De l'Attraction dans les Corps solides.

CHAPITRE III.

Application des lois de la Mécanique à l'Equilibre et au Mouvement des Corps solides.

N^{os}. Pages

Fin de la Table de la première partie.

Imprimerie de GUEFFIER, rue Guénégaud, n°. 31.

